

**DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE
PARTICULAS TOTALES SUSPENDIDAS (PTS) UTILIZANDO EL MODELO
ISCST**

**YURI PAULIN HURTADO GARCÍA
ELIANA LIZETH VERGARA VÁSQUEZ**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA
2007**

**DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE
PARTÍCULAS TOTALES SUSPENDIDAS (PTS) UTILIZANDO EL MODELO
ISCST**

**YURI PAULIN HURTADO GARCÍA
ELIANA LIZETH VERGARA VÁSQUEZ**

**Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniero Ambiental y
Sanitario**

**Director
FRANCISCO FERNANDO GARCÍA RENTERÍA
M. Sc Ingeniería Ambiental**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA
2007**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santa Marta (08, 03,2007)

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien nos brindó la oportunidad de vivir y experimentar momentos gratificantes como este.

A Francisco García, Ingeniero Sanitario, M. Sc. Ingeniería Ambiental, Docente de la Universidad del Magdalena, quien fue el gestor de un nuevo conocimiento, una guía inigualable y máximo ejemplo a seguir. Sin su ayuda no hubiese sido posible la realización de este proyecto de gran aporte para la comunidad samaria.

A nuestros padres, quienes estuvieron presentes en todos los momentos difíciles, brindándonos su apoyo no sólo moral sino económico e impulsándonos a seguir adelante luchando por la realización de nuestras metas

A Yiniva Camargo, Ingeniera Química, Directora de Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, por su apoyo.

A Eliana Álvarez, Ingeniera Ambiental, Coordinadora del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, por su colaboración.

A la Universidad del Magdalena, quien nos brindó el espacio físico y la capacidad instalada para el desarrollo del proyecto.

A la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG), quienes pusieron a nuestra disposición toda la información necesaria para la elaboración del presente trabajo.

A Carlos de Silvestre, Funcionario de CORPAMAG, Coordinador de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, quien compartió sus conocimientos y apoyo técnico.

A Isaac Romero, Biólogo, Coordinador del Laboratorio de Aguas de la Universidad del Magdalena, quien colocó a nuestra entera disposición las herramientas de laboratorio y nos brindó su apoyo incondicional.

A Servicios Generales, dependencia de la Universidad del Magdalena, a quienes agradecemos por su eficaz ayuda ante cualquier eventualidad.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1 MATERIAL PARTICULADO	19
1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA	23
1.3 EFECTOS DEL MATERIAL PARTICULADO SOBRE LA SALUD	25
1.4 VARIACION TEMPORAL Y ESPACIAL	27
1.5 MODELACION DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	28
1.5.1 Tipos de modelos	28
1.5.2 Selección del modelo.	32
1.6 MARCO LEGAL	33
2. ÁREA DE ESTUDIO	36
2.1 DESCRIPCIÓN DEL CLIMA	36
2.1.1 Precipitaciones medias	37
2.1.2 Velocidad del viento	38
2.1.3 Brillo solar	40
2.1.4 Temperatura	41
3. METODOLOGÍA	42
3.1 LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO	42
3.2 PERIODO DE OBSERVACIÓN	44
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS	44
3.3.1 Equipo utilizado	45
3.3.2 Procedimiento de monitoreo	46
3.3.3 Calibración el equipo	48
3.3.4 Exposición y recolección del filtro	50

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

3.4	Calculo de las concentraciones de PTS	50
3.5	SIMULACIÓN DE FUENTES Y RECEPTORES	52
3.5.1	Fuentes móviles de línea	52
3.5.2	Datos meteorológicos	55
3.6	DESCRIPCIÓN DEL MODELO ISCST	57
3.6.1	Selección de opciones de modelado - ruta CO	58
3.6.2	Especificación de los datos de entrada de fuente – ruta SO	58
3.6.3	Especificación de una red receptora - ruta RE	59
3.6.4	Especificación de los datos de entrada meteorológicos - ruta ME	59
3.6.5	Selección de opciones de información de salida - ruta OU	60
3.7	GENERACIÓN DE ARCHIVO DE ENTRADA DE DATOS	61
3.7.1	Ruta Control	61
3.7.2	Ruta Fuente	61
3.7.3	Ruta Receptor	62
3.7.4	Ruta Meteorológica	63
3.7.5	Ruta de Salida	64
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
4.1	CONCENTRACIONES DIARIAS DE PTS EN LA ESTACIÓN UNIMAG	66
4.2	Concentraciones diarias de pts en las estaciones Carbogranales, Cajamag y Ejecutivos	68
4.3	Medias geométricas mensuales	71
4.4	Análisis estadístico	77
4.5	COMPOSICIÓN MINERALÓGICA	78
4.5.1	Análisis bajo microscopia	78
4.6	Simulación del modelo ISCST para fuentes y receptores	79
4.6.1	Fuentes móviles	79
4.6.2	Concentraciones de PTS	81
4.6.3	Media geométrica obtenida en la simulación con el ISCST	82
4.7	Comparación de la concentración de PTS obtenida por simulación y la obtenida en campo	86

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

5. CONCLUSIONES	87
6. BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	100

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Valores de concentración máxima permisible, con base en el promedio geométrico según Resolución 601 del 04 de Abril de 2006	35
Tabla 2. Estación seleccionada para el análisis climatológico	37
Tabla 3. Valores promedio de precipitación en Santa Marta durante los meses de enero a mayo de 2006 (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)	38
Tabla 4. Valores promedio de velocidad del viento durante los meses de enero a mayo de 2006 en m/seg. (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)	38
Tabla 5. Valores de Frecuencia de Dirección del viento (%) durante los meses de enero a mayo de 2006 (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)	39
Tabla 6. Temperatura media en Santa Marta (°C) durante los meses de Enero a Mayo (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)	41
Tabla 7. Estaciones de monitoreo del material particulado	44
Tabla 8. Aforos vehiculares en las vías La troncal, Avenida del Río y Carrera 21E teniendo en cuenta vehículos pequeños y tractomulas.	52
Tabla 9. Estabilidad atmosférica basada en la velocidad del Viento y Radiación global	55
Tabla 10. Concentraciones de PTS en la estación Unimag	66

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Tabla 11. Concentraciones de PTS en las estaciones Carbogranales, Cajamag y Ejecutivos	68
Tabla 12. Medias geométricas mensuales	71
Tabla 13. Análisis de varianza para las estaciones de monitoreo	77
Tabla 14. Resumen estadístico concentraciones PST en Santa Marta 2006	78
Tabla 15. Composición mineralógica de los filtros pertenecientes a la estación Unimag	78
Tabla 16. Emisiones asociadas a las vías de tránsito vehicular consideradas	79
Tabla 17. Coeficientes de dispersión σ_y y σ_z para La Troncal	80
Tabla 18. Coeficientes de dispersión σ_y y σ_z para la Avenida del Río	80
Tabla 19. Coeficientes de dispersión σ_y y σ_z para la Carrera 21E	80
Tabla 20. Concentraciones reportadas por el modelo ISCST para todas las fuentes	81
Tabla 21. Concentración de PTS emitido por las vías Troncal, Avenida del Río y Carrera 21 E en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	82
Tabla 22. Comparación de la concentración de PTS real y simulada obtenida en la estación Unimag	86

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Distribución del tamaño ideal de las partículas en el aire	21
Figura 2. Distribución de tamaño de las partículas de acuerdo a la fuente de emisión	23
Figura 3. Representación de las diversas regiones del aparato respiratorio humano	26
Figura 4. Proyección del Área de estudio escogida, la Ciudad de Santa Marta	36
Figura 5. Direcciones predominantes de los vientos en Santa Marta	40
Figura 6. Brillo solar en Santa Marta (Horas) durante los meses de Enero a Mayo. (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)	41
Figura 7. Localización de la estación Unimag, nótese la estructura sobre la cual esta ubicado el Hi-Vol para obtener la altura adecuada de medición	43
Figura 8. Estructura del muestreador de alto volumen (Hi-Vol) utilizado para la medición de PTS en cada una de las estaciones	45
Figura 9. Pesaje de filtros después de utilización en balanza analítica con precisión de 0.1 mg	47
Figura 10. Dsecación de filtros después de su utilización para eliminación de humedad en los mismos	48

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Figura 11. Kit de Calibración del Hi-Vol con las diferentes partes que lo conforman (platos perforados, manguera, cilindro y sujetador de platos)	48
Figura 12. Procedimiento de calibración del Hi-Vol	49
Figura 13. Procedimientos para determinar las dimensiones laterales iniciales y las dimensiones verticales iniciales para fuentes lineales	54
Figura 14. Red de receptores introducidos al modelo	63
Figura 15. Valores de concentración de PTS para todas las estaciones de muestreo	70
Figura 16. Isopleas medias geométricas del mes de Enero de 2006	72
Figura 17. Isopleas medias geométricas del mes de Febrero de 2006	73
Figura 18. Isopleas medias geométricas del mes de Marzo de 2006	74
Figura 19. Isopleas medias geométricas del mes de Abril de 2006	75
Figura 20. Isopleas medias geométricas del mes de Mayo de 2006	76
Figura 21. Isopleas de concentración debida a fuentes lineales correspondientes a las vías de tráfico vehicular La Troncal, Avenida del Río y Carrera 21E en la estación Universidad del Magdalena	84
Figura 22. Influencia de las vías La Troncal, Avenida del Río y Carrera 21E sobre la ciudad de Santa Marta	85

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Curvas de calibración	96
Anexo B. Datos de entrada introducidos al modelo ISCST	101

RESUMEN

Santa Marta es una ciudad costera ubicada al norte del país, dentro de ella existen fuentes importantes que contribuyen a la disminución de la calidad del aire en lo referente a material particulado suspendido. Con el fin de determinar su variación temporal, se realizó un muestreo comprendido entre los meses de enero a mayo del 2006, colectando muestras diarias durante 24 horas continuas cada una utilizando el aparato muestreador de alto volumen (Hi-Vol).

Se localizaron (4) cuatro estaciones de monitoreo en diferentes puntos de la ciudad, como son el Edificio Ejecutivo, Cajamag, Carbogranes y la Universidad del Magdalena; las tres primeras pertenecientes a la red de Monitoreo de la Calidad del Aire. Se encontró que las medias geométricas más altas se presentaron en los meses de febrero y marzo siguiendo un patrón de dispersión hacia las direcciones noreste y norte respectivamente, influenciados principalmente por la velocidad y dirección de los vientos de la ciudad.

Con el fin de establecer la variación espacial se utilizó el modelo ISCST (Industrial Source Complex Short Term), tomando fuentes de tipo lineal correspondientes a las vías de tránsito vehicular La Troncal, Avenida del Río y la Carrera 21E próximas a la estación ubicada en la estación Universidad del Magdalena.

Palabras clave: partículas totales suspendidas, ISCST, calidad del aire, material particulado, Santa Marta.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

ABSTRACT

Santa marta is a coastal city located in the north of the country, inside of it exists important sources that contributes to the decreases of the air quiality relating to total suspended matter. In order of determining its temporal variation, a monitoring was realized during the months of January and May of 2006, collecting diary samples during 24 hours continuous each one using a high volume sampler (Hi-Vol).

It was located (4) four monitoring stations in differents points of the city, as they are, Executive Building, Cajamag, Carbograneeles and University of Magdalena; three firts of them appertaining to Air Quality Monitoring Net. It was found that highest geometry averages were report in the months of February and March following a dispersion pattern toward north and northeast directions respectively., influended mainly by the speed and direction of the wind.

In order to stablsh the spatial variation it was used ISCST (Industrial Source Complex Short Term) model, taking lineal sources correspondents to the vehicular traffic roads the Troncal, Avenida del Río and 21E Carreer next to the monitoring station located in the University of Magdalena.

Keywords: total suspended particles, ISCST, air quality, particulate matter, Santa Marta.

INTRODUCCIÓN

Santa Marta es una ciudad costera ubicada al norte del país, en la cual se presentan fuentes importantes que contribuyen a la disminución de la calidad del aire en lo referente a material particulado suspendido dada la presencia de (4) cuatro puertos carboníferos, en donde pese a que se toman medidas preventivas para manejar el problema, se presume se constituyen en una fuente de emisión importante de polvillo de carbón principalmente en los procesos de apilado, transporte y embarque, y que se incrementa debido a la acción de los fuertes vientos. Por otro lado, en la ciudad existen vías importantes de circulación de vehículos pesados que emiten diariamente considerables cantidades de contaminantes atmosféricos tales como monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, metales pesados y material particulado, ayudando a incrementar la problemática. Por la zona de vida, la vegetación de los cerros que rodean la ciudad, decrece en épocas secas, denudándolos y aumentando así la dispersión de material particulado a causa de la erosión eólica; en el área urbana de la ciudad existen canteras que se dedican a la explotación de los cerros por medio de la extracción de material pétreo, en sus actividades de buzamiento y trituración emiten gran cantidad de polvo, alterando la calidad del aire. Otra fuente importante de material particulado es el mar, el cual contribuye a la formación del aerosol marino, en estas partículas se encuentran residuos orgánicos procedentes de la descomposición de las algas y del plancton y elementos químicos, de los que el más abundante es el cloruro de sodio, las cuales se constituyen en un problema de corrosión de estructuras metálicas, monumentos históricos y edificios. Pese a que en la ciudad existe una red de monitoreo de la calidad del aire que cuenta con (11) once estaciones, existen lugares puntuales donde no se conocen exactamente los niveles de concentración de material particulado.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Por tal motivo, se realizó una investigación durante los meses de enero y mayo del año 2006, con el objetivo de determinar la variación temporal y espacial de material particulado suspendido (PTS), estableciendo (4) cuatro puntos de monitoreo ubicados en el Edificio Ejecutivo, Cajamag, Carbogranes pertenecientes ala Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la ciudad, y (1) una instalada por las investigadoras en la Universidad del Magdalena; ésta última es una institución de educación superior que se encuentra enmarcada por una vía por la cual circulan aproximadamente 3372¹ vehículos por hora en promedio, entre motocicletas, automóviles, buses de transporte público y camiones. Esta vía se encuentra cercana a una zona denominada La Lucha en la cual existió una estación perteneciente a la Red de Monitoreo de la calidad del Aire de la ciudad que según datos obtenidos presentó niveles que excedían la norma anual. Para el desarrollo en campo de esta investigación se utilizó el equipo muestreador de alto volumen HI-VOL colectando muestras diarias durante 24 horas en el periodo comprendido de Enero a Mayo del 2006. Para determinar la variación temporal y espacial del contaminante PTS, se utilizo el modelo ISCST (Industrial Source Complex Short Term) desarrollado por la EPA, teniendo en cuenta tres fuentes lineales como son las vías Troncal, Avenida del Río y Carrera 21 E y evaluando de tal forma su influencia sobre la estación Unimag.

En este documento se divide en (5) cinco capítulos. El primero de ellos contiene una reseña sobre los conceptos de material particulado, su clasificación y las fuentes que lo generan, aquí también se da un aparte sobre la variación temporal y espacial, y se explica brevemente la modelación de contaminantes atmosféricos. Se destacan en este capítulo el marco legal en el cual se realiza una breve descripción de las normas y decretos sobre calidad del aire. En un segundo capítulo se describe el lugar de estudio identificando variables meteorológicas, en

¹ Indistran, 2005.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

el capítulo siguiente se identifica la metodología se muestra una descripción del modelo utilizado, en un cuarto capítulo tenemos el análisis de resultados tanto en campo como los datos arrojados por el modelo, y se finaliza con las conclusiones obtenidas a partir de los datos experimentales.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 MATERIAL PARTICULADO

La contaminación atmosférica por material particulado se define como la alteración de la composición natural de la atmósfera como consecuencia de la entrada en suspensión de partículas, ya sea por causas naturales o por la acción del hombre. Las partículas son frecuentemente clasificadas como primarias (emitidas directamente a la atmósfera) o secundarias (se forman o modifican en la atmósfera por condensación, crecimiento o cambio químico de los gases) y se emplean diversos términos para clasificar las partículas arrastradas por el viento como: aerosol, polvo, partícula, ceniza fina, niebla, vapores, humo y hollín. El material particulado secundario tiende a ser más fino en tamaño y se forma en la atmósfera a través de conversión física y química de precursores gaseosos como son los óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y compuestos orgánicos volátiles, por ejemplo, la oxidación de dióxido de azufre a ácido sulfúrico y cuando las sustancias reaccionan con la luz solar y el vapor de agua (EPA, 2002).

Muchas propiedades de las partículas pueden influir de manera importante en su comportamiento en el aire y sus efectos sobre el medio ambiente y la salud. Estas propiedades son (David et al, 1998):

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Superficie. Para las partículas esféricas, la superficie varía según el cuadrado del diámetro. Sin embargo, para un aerosol con una concentración de masa dada, la superficie total del aerosol aumenta de manera inversamente proporcional al tamaño de las partículas. Para las partículas no esféricas o agregadas, y para las partículas con hendiduras o poros internos, la relación de la superficie respecto al volumen puede ser mucho mayor que para las esferas.

Volumen. El tamaño de las partículas varía según el cubo del diámetro; por tanto, las pocas partículas más grandes de un aerosol tienden a dominar su concentración de volumen (o masa).

Forma. La forma de una partícula afecta a su resistencia aerodinámica además de a su área de superficie y, por tanto, a sus probabilidades de movimiento y depósito.

Densidad. La velocidad de una partícula en respuesta a fuerzas gravitatorias o de inercia aumenta según la raíz cuadrada de su densidad

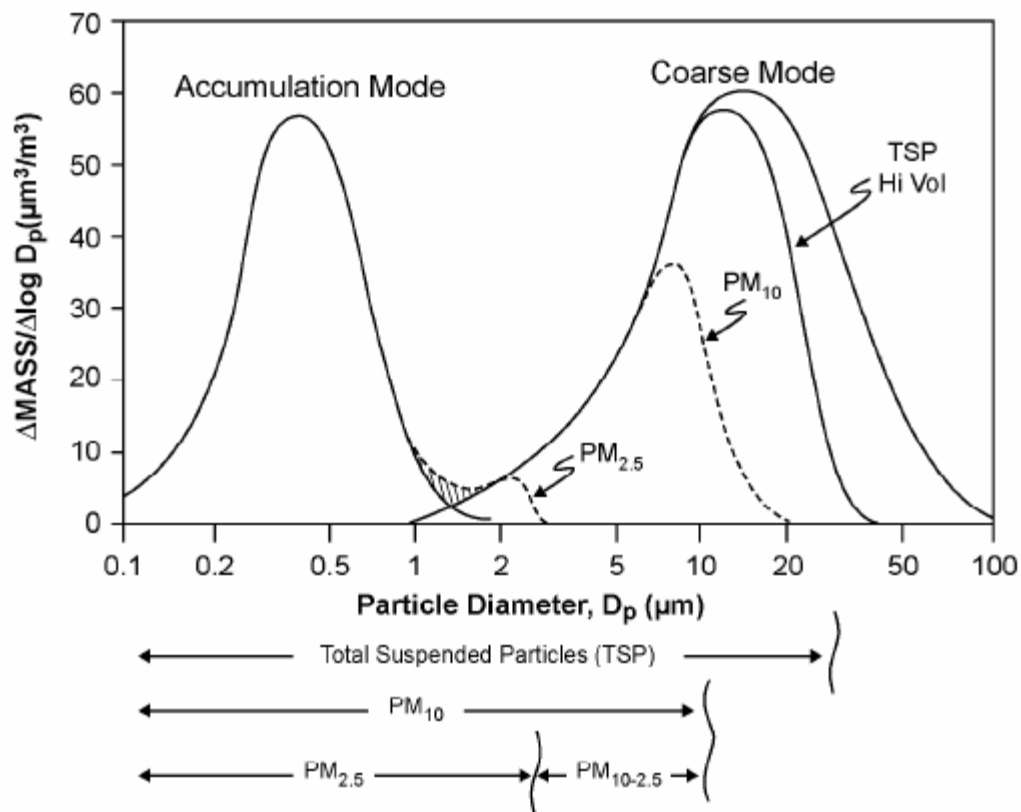
Debido a que son de tamaño, forma y composición variada, para su identificación se han clasificado en términos de su diámetro aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme de unidad de densidad que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula; de acuerdo a esto pueden ser catalogadas como finas y gruesas (García, 2002; Bell et al., 2004).

Generalmente se identifican diferentes rangos de tamaños de partícula. Las partículas más pequeñas resultan de la combustión y fuentes estacionarias, mientras que las partículas más grandes tienden a proceder de fuerzas mecánicas, como son el viento o el tráfico. Las partículas en el aire urbano tienden a presentar una distribución multimodal reflejando estas fuentes. Se han identificado tres modos de tamaño básico: **nucleótidos** (partículas con un diámetro menor que $0.1\mu\text{m}$), **acumulación** (partículas con un diámetro entre $0.1\text{-}1$ ó $2\mu\text{m}$), **gruesas** (partículas con un diámetro mayor de $1\mu\text{m}$). En una muestra de

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

aire urbano, las partículas gruesas componen típicamente una fracción pequeña de todas las partículas con respecto al número de densidad pero comprenden una gran fracción con respecto al volumen o masa. Las partículas más pequeñas contribuyen menos al volumen y masa total pero más a la superficie del área y el número total de partículas (Bell, et al, 2004).

Figura 1. Distribución del tamaño ideal de las partículas en el aire, donde se muestran las partículas finas y las gruesas.



Fuente: EPA, 2003

Las partículas atmosféricas pueden ser emitidas por una gran variedad de fuentes de origen natural o antropogénico, tales como:

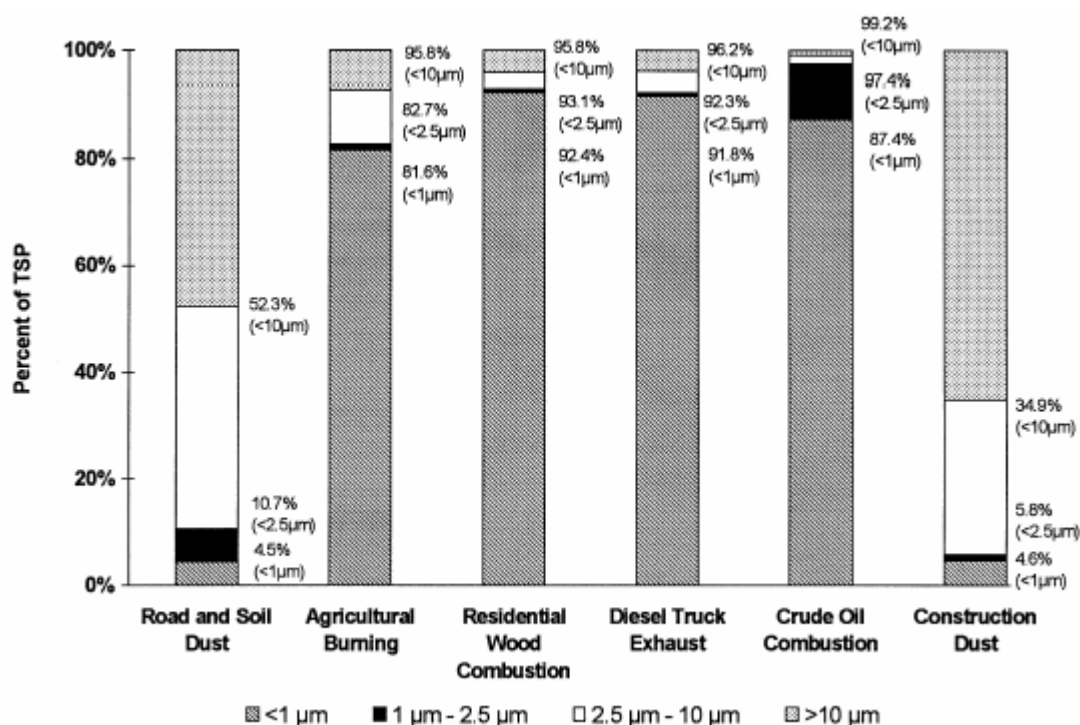
DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

- a- Fuentes de combustión, en particular la combustión del diesel, donde el transporte del material caliente desalojado dentro de los tubos de escape o chimeneas pueden producir nucleaciones espontáneas de partículas antes de la emisión (Benavides, 2003). También incluye fuentes móviles (principalmente vehículos) y fuentes estacionarias (fuentes industriales primarias y plantas de poder). Una de las principales fuentes de material particulado fino son los procesos de combustión
- b- Fuerzas mecánicas, incluyendo vientos, tráfico vehicular y otras actividades (Bell, et al, 2004).

La Figura 2 muestra la distribución de partículas suspendidas medidas de fuentes comunes de emisión. El Polvo de construcción, polvo de vías y suelos, se forman de la pulverización de partículas grandes de tierra en las que predominan partículas del rango de triturado, con una moderada menor cantidad de la fracción PM_{2.5}. La composición química que distingue a los polvos de origen geológico, de los productos de combustión y los aerosoles secundarios puede ser usada efectivamente para clasificar la concentración de masa de los TPS o PM₁₀, en la fracción de triturado o condensación.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Figura 2. Distribución de tamaño de las partículas de acuerdo a la fuente de emisión



Fuente: Chow and Watson, 1998

1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Químicamente, las partículas pueden presentar las siguientes combinaciones (Chow and Watson, 1998):

- **Material Geológico:** El polvo suspendido consiste principalmente en óxidos de aluminio, sílice, calcio, titanio, hierro y otros óxidos metálicos (Chow and Watson, 1992). La combinación precisa de estos minerales depende de la geología del área y los procesos industriales como son la minería, la producción de cemento y acerías. El material geológico es la principal fracción gruesa de las partículas y típicamente constituye aproximadamente el 50% de PM_{10} mientras solamente contribuye de 5 a 15% de $PM_{2.5}$

- **Sulfatos:** el sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), bisulfato de amonio (NH_4HSO_4), y el ácido sulfúrico (H_2SO_4) son las formas más comunes de sulfato encontrados en las partículas atmosféricas, resultantes de la conversión de gases a partículas. Estos compuestos son solubles en agua y residen exclusivamente en el tamaño de la fracción de $\text{PM}_{2.5}$. El sulfato de sodio (Na_2SO_4) puede ser encontrado en áreas costeras donde el ácido sulfúrico ha sido neutralizado por el cloruro de sodio (NaCl) en la sal marina.
- **Nitrato:** El nitrato de amonio (NH_4NO_3) es el componente nitrogenado más abundante, resultante de un equilibrio reversible gas/partícula entre el amonio gaseoso, ácido nítrico gaseoso y el nitrato de amonio particulado. Debido a que este equilibrio es reversible, las partículas de nitrato de amonio pueden evaporarse en la atmósfera fácilmente o después de que han sido colectadas en el filtro debido a cambios en la temperatura y humedad relativa. El nitrato de sodio (NaNO_3) se encuentra en el $\text{PM}_{2.5}$ y fracción gruesa cerca de las costas marinas y playas de (Watson et al., 1995) donde el vapor del ácido nítrico reacciona irreversiblemente con la sal marina (NaCl).
- **Amonio:** el sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), el bisulfato de amonio (NH_4HSO_4), y el nitrato de amonio (NH_4NO_3) son los compuestos más comunes que contienen amonio de reacciones irreversibles entre ácido sulfúrico y amoníaco gaseoso.
- **Cloruro de sodio:** la sal se encuentra en partículas suspendidas cerca a las costas, playas abiertas. En esta forma, la sal está usualmente en la fracción gruesa de las partículas, entre las cuales se resaltan los aerosoles marinos, que poseen en su mayoría origen natural y son emitidos directamente a la atmósfera (partículas primarias), por medio de dos mecanismos principales de formación como son la ruptura de burbujas de aire que alcanzan la superficie de los océanos

y la agitación de la superficie de los mares y océanos por acción del viento (Viana, 2003).

- **Carbón orgánico:** el carbono orgánico particulado consiste de cientos, posiblemente miles, de compuestos separados que contienen más de 20 átomos de carbono ($>C_{20}$). Debido a la falta de especificidad molecular, y debido a la naturaleza semi-volátil de muchos compuestos de carbono (C_{20} a C_{40}), el “carbón orgánico” particulado es definido operacionalmente por los métodos de análisis y muestreo.
- **Carbón elemental:** el carbón elemental es negro, frecuentemente denominado “hollín”. El carbón elemental contiene carbón puro grafitico, pero también contiene alto peso molecular, coloración oscura, materiales orgánicos no volátiles como el alquitrán.

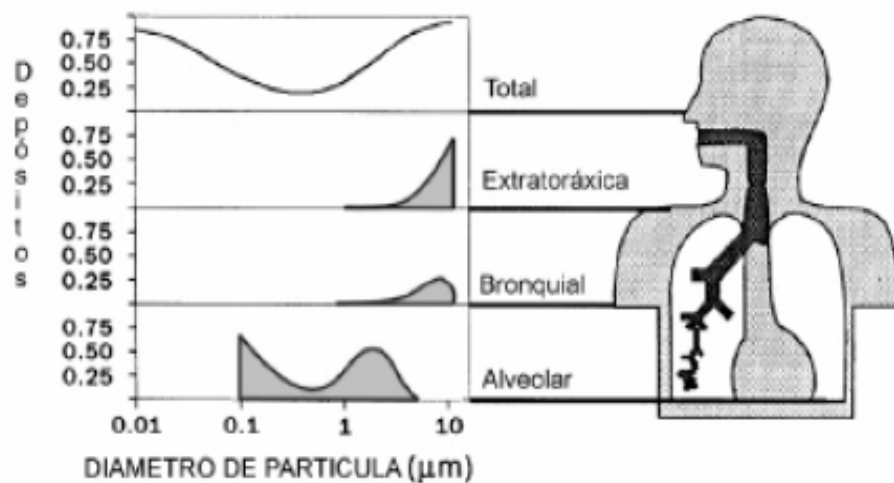
1.3 EFECTOS DEL MATERIAL PARTICULADO SOBRE LA SALUD

En los últimos años un número importante de estudios realizados en distintas ciudades han encontrado que aún por debajo de los niveles de contaminación del aire, considerados como seguros, los incrementos de los niveles de contaminación atmosférica se asocian con efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente (Turtós, 2003). La mayoría de ellos incluyen las partículas en suspensión, y con gran consistencia los resultados muestran una asociación positiva con los indicadores de salud. Las partículas pequeñas tienen una alta probabilidad de deposición profunda en el tracto respiratorio y probablemente exacerban las enfermedades respiratorias por lo que el material particulado ha sido vinculado con numerosos efectos adversos a la salud que incluyen incrementos de admisión en los hospitales y visitas a salas de emergencia, síntomas respiratorios, exacerbación de enfermedades cardiovasculares y respiratorias crónicas, disminución de las funciones pulmonares y mortalidad prematura (EPA, 1997). El

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

sistema respiratorio constituye la principal vía de entrada del material particulado en el organismo. La deposición de las partículas en diferentes partes del cuerpo humano depende del tamaño, forma y densidad de las partículas, así como de la respiración del individuo (nasal u oral). Posteriormente, los efectos que puede inducir el material particulado en el organismo dependen de la granulometría, la morfología y la composición química de las partículas, el tiempo de exposición y la susceptibilidad de cada persona. No obstante existen otros factores externos que podrían influir tales como: la predisposición genética, edad, estado nutricional, presencia y severidad de condiciones cardíacas y respiratorias, y el uso de medicamentos; así como la actividad y el lugar de trabajo (ZMVM, 2002)

Figura 3. Representación de las diversas regiones del aparato respiratorio humano



Fuente: ZMVM, 2002

Swift (Swift, 1995), argumenta que la alta deposición de material particulado en el área nasal puede relacionarse con enfermedades respiratorias como la rinitis, alergia, entre otras infecciones. A partir de numerosos estudios epidemiológicos

llevados a cabo en las décadas de 1980 y 1990 se han obtenido suficientes datos para afirmar que existe una correlación significativa entre la exposición al material particulado atmosférico y diversos efectos adversos sobre la salud (Dockery, 1993). Los estudios han mostrado que la exposición repetida a largo plazo a la contaminación del aire está asociada con el incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares en muestras de adultos (Pope, 2002; Pope, 2004)

Es necesario conocer la estructura Global de un partícula; desde su forma, hasta su composición y determinar el grado de toxicidad, de tal manera que se determine en que medida podría afectar la salud humana y ambiental. Por un lado se ha sugerido que el poder toxico de las articulas en los ambientes urbanos procedería de su alta composición en partículas ultrafinas. Así aunque gravimétricamente su concentración no sea muy alta, estas partículas podrían provocar una exacerbación de los problemas respiratorios (Ballester, et al., 2005). Es decir, que la toxicidad de las partículas depende fundamentalmente de su tamaño y su composición química según investigaciones realizadas en diferentes países (Escalona, 2002).

1.4 VARIACION TEMPORAL Y ESPACIAL

Para entender la mayoría de fuentes que constituyen el material particulado primario y secundario son necesarios análisis temporales y espaciales de éstos y sus componentes para separar la influencia de la meteorología, concentración de fondos transportados, fuentes de emisión y programas de control existentes para material particulado y otros. Las variaciones temporales y espaciales en la concentración y composición de material particulado proporcionan una importante incidencia en los procesos antropogénicos y atmosféricos que influyen la distribución y formación de partículas. Consecuentemente, el análisis de datos de patrones temporales y espaciales es particularmente útil para fuentes de

identificación y caracterización. Además la consideración de escalas temporales y espaciales ayuda a enfocar lo concerniente a las estrategias de manejo de los efectos (Motallebi, et al., 2003).

Un número de factores que contribuyen a la variabilidad dentro de áreas urbanas incluyen: fuentes locales primarias de PM (como en áreas industriales), sitios que separan barreras topográficas, sucesos de emisiones pasajeras, fenómenos meteorológicos, diferencias en el comportamiento de componentes semi-volátiles, mediciones de error. Estos factores son responsables de la variabilidad espacial que es observada en otros contaminantes también (Pinto, et al., 2003).

1.5 MODELACION DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Los modelos de contaminación del aire juegan un papel importante en la ciencia, debido a su capacidad para investigar la importancia de procesos relevantes, al igual que un mayor rol en la aplicación. Son los únicos métodos que pueden cuantificar la relación entre emisiones y concentración/deposición, incluyendo las consecuencias de escenarios futuros y las estrategias de minimización (Buitjes, 2001).

1.5.1 Tipos de modelos

Modelos gaussianos de difusión para penachos de chimeneas (emisión fija continua): es la técnica más ampliamente usada para contaminantes no reactivos. Proporciona una excelente aproximación matemática a la dispersión de contaminantes. Estos modelos han sido usados satisfactoriamente para simular la distribución de concentraciones de contaminantes sobre áreas urbanas e industriales con una escala típica de uno a menos de 50 kilómetros. En la actualidad la mayoría de las teorías tienden a llegar a la misma función de

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

distribución para la concentración del contaminante y en general, estas ecuaciones de dispersión tomaran el formato de una doble distribución gaussiano (distribución normal estadística) en dos direcciones y y z . Estos modelos se basan en la difusión de la masa del contaminante en estas direcciones (y, z), según elementos fluidos es arrastrado por el viento; incluyen procesos en estado estacionario y asume que el material proveniente de un fuente, es transportado continuamente en dirección de la velocidad del viento, estando las concentraciones mas altas en el centro del penacho y las mas bajas en los extremos (Wark y Warner 1996).

Los desarrollos generados en estos modelos han sido del tipo matemático incluyendo métodos que contribuyen a involucrar una mayor cantidad de fuentes de emisión y al cálculo de la concentración de un contaminante específico en un lugar determinado involucrando el aporte de cada fuente. Cabe mencionar que la mayoría de los modelos de calidad del aire recomendados por la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA) son gaussianos.

Modelos estadísticos: las técnicas estadísticas o empíricas son frecuentemente empleadas, cuando no se dispone de una clara interpretación científica de los procesos físico-químicos o en situaciones en las que no se cuente con una fiable y completa base de datos. Están basados en técnicas estadísticas o semi-empíricas para analizar tendencias, relaciones de la calidad del aire, las mediciones atmosféricas y para predecir la evolución en situaciones de contaminación de corto plazo. Lo anterior se realiza mediante el análisis de distribución de frecuencias, análisis de series de tiempo y otros métodos estadísticos.

Modelos numéricos-químicos: este tipo de modelos son de mucho más apropiados que los modelos Gaussianos para análisis de una fuente de área urbana cuando están involucrados contaminantes reactivos que formen

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

contaminantes secundarias; pero requieren unas bases de datos mucho más extensas y complejas, por lo cual su aplicación es restringida.

Modelos refinados: este tipo de modelos se usa con fines regulatorios principalmente. La entrada de datos debe ser bastante específica e incluye: metodología detallada (preferentemente micro meteorología de la zona a modelar), características topográficas, ubicación de fuentes y receptores, factores de emisión, concentración de fondo, entre otros datos.

Modelos de caja: este modelo asume que los contaminantes emitidos a la atmósfera se mezclan uniformemente en un volumen o caja de aire de dimensiones finitas. Se deben establecer las dimensiones con viento a favor, vientos de costado y verticales de la caja y establecer el periodo de tiempo de emisión de contaminantes. Se considera que los contaminantes son químicamente estables y que permanecen en el aire. Estos modelos son comúnmente utilizados para evaluar la calidad del aire.

1.5.1.1 Variables a considerar para la aplicación de modelos de dispersión.

Las variables claves que conforman la base de datos de entrada para aplicar un modelo de dispersión y hacerlo consistente son (Benavides, 2002):

- **Cantidad y tipo de emisiones generadas por las actividades existentes.** Estas emisiones se pueden determinar por medición directa, balance de masa o usando ecuaciones empíricas que permitan calcular la emisión por medio de factores definidos para cada tecnología, proceso o equipo y para cada combustible o materia prima usada en estos procesos. Por otra parte, es necesario conocer la ubicación física de las fuentes de emisión y las especificaciones geométricas de los dispositivos utilizados para su liberación a la atmósfera.

- **La meteorología.** Es el factor principal que determina el efecto de dispersión de la sustancia emitida a la atmósfera y de cómo es transportada en la dirección del viento. Los principales factores que determinan los procesos de dispersión son: la dirección y velocidad del viento, la turbulencia en la atmósfera y la altura a la cual es emitida la sustancia. Los dos primeros factores son meteorológicos y el tercero, la altura de la pluma, puede ser influenciada por la meteorología. La dirección del viento es crucial para determinar hacia donde se dirige un contaminante emitido. La velocidad del viento es importante, ya que, la dispersión en la atmósfera generalmente es mayor con más altas velocidades de los vientos. Finalmente, la atmósfera generalmente es turbulenta, debido a los efectos del viento (el cual causa turbulencia mecánica) y los efectos del calor (el cual causa turbulencia térmica) afectando los procesos de dilución y de mezcla de los contaminantes en la atmósfera.

- **La estabilidad atmosférica.** Esta se relaciona con el perfil de temperatura, con la altura y además con la nubosidad, velocidad y dirección del viento e insolación. Condiciones de alta estabilidad están asociadas a condiciones de baja dispersión atmosférica y por consiguiente, de ventilación precaria y aumento de concentración. Igualmente, la inestabilidad alta es asociada a bajas concentraciones de contaminantes. En estricto rigor, es necesario conocer con detalle como se comporta la temperatura con la altura que por o general es muy complejo e implica altos costos para su determinación. Para determinar el tipo de estabilidad atmosférica se han diseñado diferentes tablas de clasificación, tales como las cartas elaboradas por Pasquill y Gifford y por Cramer que permiten definirla a partir de datos de la velocidad del viento en superficie (a 10 metros), la insolación diaria y la nubosidad en la noche

- **Rugosidad del terreno.** Esta variable da cuenta de las irregularidades topográficas que afectan el comportamiento de los contaminantes generando mayor turbulencia y dispersión de los mismos. Es definida como la altura para la cual se anula a velocidad del viento en las cercanías del suelo. Es posible asociarla a un valor paramétrico relacionado con el tipo de terreno.

- **Datos de monitoreo de calidad el aire en la zona.** Permiten validar el modelo utilizado, contrastándolo con valores de concentración reales y en el caso de contar con monitoreos continuos de variables meteorológicas, permite conocer como varía estacionalmente la velocidad y dirección del viento, así como la estabilidad.

1.5.2 Selección del modelo. En el contexto internacional el modelo más usado para la modelación de calidad del aire es el ISCST3, propuesto como regulatorio por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) (Motallebi, et al., 2003). El modelo de dispersión Complejo de Fuente Industrial (ISC) se ha usado ampliamente en el último año en Italia para la dirección de calidad aérea local y para el análisis de impacto medioambiental, En la Habana Cuba Leonor Turtos aplico este modelo para simular la dispersión local de las emisiones de SOX de la Central Termoeléctrica de Santa Cruz en un proyecto denominado “Modelación de la dispersión local de contaminantes atmosféricos en terrenos complejos”, En Colombia este modelo también ha sido utilizado para diversos estudios relacionados con calidad del aire, en el año 2003 Henry Benavides lo manejo para pronosticar la concentración de material particulado por chimeneas en Bogota. Por estas razones, en la presente investigación se ha escogido este modelo, debido a que la localización de los receptores puede ser especificada como una cuadrícula o ubicarse como receptores discretos en coordenadas cartesianas, además debido a que usa datos meteorológicos en tiempo real para explicar las

condiciones atmosféricas que afectan la dispersión de contaminantes en el área de modelamiento.

1.6 MARCO LEGAL

El decreto ley 2811 de 1974 denominado Código Nacional de los recursos Naturales Renovables (CNRNR), quien en sus artículos 73-76 comienza a darle importancia a la calidad del aire y enmarca la normativa sobre el medio ambiente, en ella se plasma las normas legales de la política ambiental, los asuntos ambientales de ámbito e influencia internacional, los medios de desarrollo de la política ambiental, las normas de preservación ambiental, normas comunes, destacándose la parte II del libro segundo quien enfatiza la atmósfera y el espacio aéreo. En el artículo 18 del presente decreto se introducen las tasas retributivas las cuales se causan por la utilización directa e indirecta de vapores, humos, sustancias nocivas a la atmósfera.

En el año 1979 aparece la Ley 9 denominada el Código Sanitario Nacional en el cual se exponen las condiciones sanitarias del ambiente y necesarias para asegurar el bienestar y salud humana, esta ley plasma en sus artículos 41-49 la política para el control de la contaminación del aire, dando a conocer aquellas medidas que se deben tomar para reglamentar y legalizar las descargas de residuos y materiales que afecten el medio ambiente. Posteriormente aparece el Decreto 02 de 1982 en donde se especifican todos aquellos procedimientos para controlar la contaminación del aire. A este Decreto se le suman las resoluciones 31194/83, 19622/85 y 2308/86.

En 1990 aparece la ley 30 se aprueba el convenio de Viena para la protección de la capa de ozono y actualmente ejerce control sobre compuestos organoclorados. En el año 1991 se crea la Constitución Política de Colombia la cual se convierte en

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

una herramienta legal de valiosísima importancia quien muestra en su Capitulo 3 los Derechos colectivos y del medio ambiente. Mas tarde la legislación colombiana en 1992 crea la ley 29 que es la adhesión del protocolo de Montreal en donde se establecieron las metas para reducir las concentraciones de contaminantes atmosféricos que agotan la capa de ozono destacándose el NO_x, NO, SO_x, CO, CO₂, CH₄, compuestos halogenados e hidrocarburos.

Con la ley 99 de 1993 se crea el Ministerio Del Medio Ambiente quien es el órgano legal que comienza a gestionar sobre el Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, creando el SINA (Sistema Nacional Ambiental). En este mismo año aparece el acuerdo 062 del INTRA (Instituto Nacional de Transporte), en el cual se establecen el sistema de control de emisiones vehiculares, pero a partir de 1995 es que se fijan los valores permisibles para distintos modelos de vehículos. En el año 1994 se fija el Decreto 1753 en donde se define el alcance y concepto de las licencias ambientales.

En el año 1995 se crea el Decreto 948, que deroga la ley 02 de 1982 y establece normas, mecanismos de prevención, control y atención de episodios generados por fuentes móviles y/o fijas; proporciona criterios para la fijación de estándares de emisión y regula el otorgamiento de los permisos de emisión, así, como los instrumentos de control, vigilancia y régimen de sanciones a los infractores de la norma. El mismo año surge el Decreto 2107 referente a la prohibición del uso de crudos pesados, quemas abiertas en áreas rurales, emisiones de vehículos diesel, solicitud del permiso de emisión, los trámites del permiso de emisión atmosférica (alcance y renovación), evaluación de emisiones de vehículos automotores entre otros aspectos. Finalmente aparece la Resolución 601 del 04 de Abril de 2006 quien actualmente es la que se encarga de regular la Norma de Calidad del Aire. Esta última contiene los valores de concentración máxima permisible de los principales contaminantes atmosféricos y cuyos valores se relacionan en la Tabla 1.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

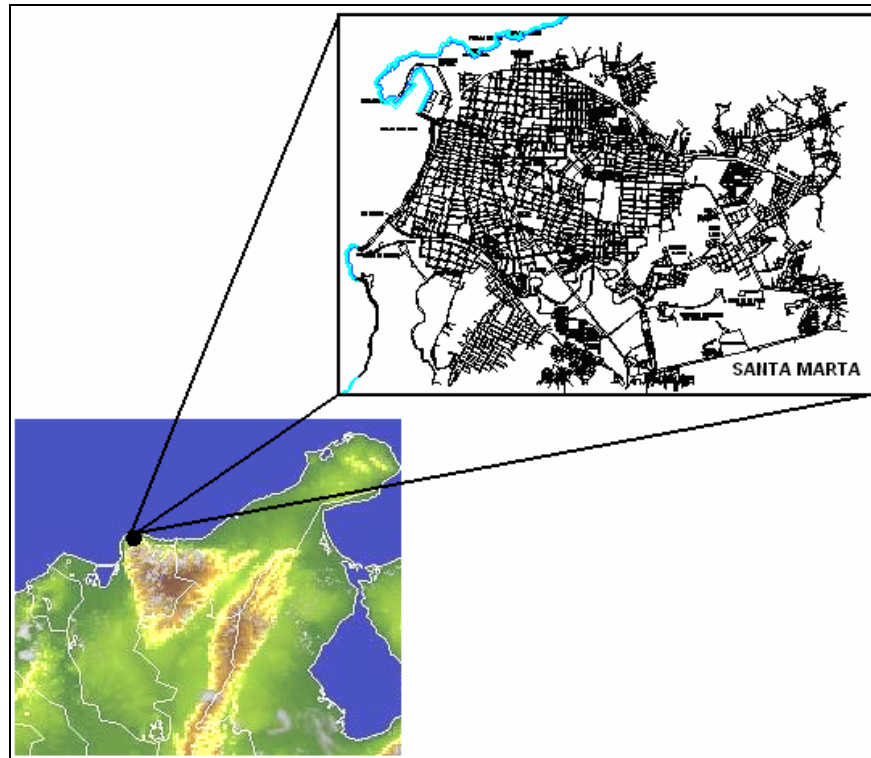
Tabla 1. Valores de concentración máxima permisible, con base en el promedio geométrico según Resolución 601 del 04 de Abril de 2006

CONTAMINANTE	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
PTS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	anual
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	300	24 horas

2. ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Santa Marta bordea el sector oriental de la bahía que lleva su nombre. Está situada entre los 11°14'50" de Latitud Norte y los 74°12'06" de Longitud Occidental, a una altura de 6 metros sobre el nivel del mar .

Figura 4. Proyección del Área de estudio escogida, la Ciudad de Santa Marta.



2.1 DESCRIPCIÓN DEL CLIMA

La información de referencia para el análisis del componente climatológico fue consultada en la red climatológica del Instituto de Hidrológica, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para lo cual se consultó información de la estación

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

meteorológica Simón Bolívar durante los meses de enero a mayo del presente año. La Tabla 2 muestra la descripción de dicha estación meteorológica.

Tabla 2. Estación seleccionada para el análisis climatológico

CÓDIGO	TIPO	NOMBRE	SUB CUENCA	DPTO	MUN.	COORD	ELEV	F. INST.
1501505	SP	Apto Simón Bolívar	Mar Caribe	Magd.	Santa Marta	1108N 7414W	4	1952-Jun

SP: Sinóptica Principal

2.1.1 Precipitaciones medias. El régimen normal de la precipitación está determinado por la situación geográfica y por la influencia de algunos factores importantes, tales como la circulación atmosférica, el relieve, la integración entre la tierra y el mar, la influencia de áreas selváticas o boscosas. La presencia de la Sierra Nevada en la ciudad de Santa Marta trae como consecuencia cierta clase de fenómenos: se opone al paso de los vientos alisios que soplan del norte y noreste principalmente, por ellos los flancos norte y noreste presentan mayor nubosidad y precipitación. Las nubes que dan contra el macizo ascienden por efecto del relieve y se precipitan, las que logran pasar la alta barrera, se disuelven por el efecto de “fohen” en la vertiente opuesta. Lo anterior explica el por que de la característica seca de la vertiente occidental de la Sierra y el área de Santa Marta.

En la Tabla 3 se presentan los valores promedios de precipitación durante el periodo comprendido de enero a mayo del presente año

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Tabla 3. Valores promedio de precipitación en Santa Marta durante los meses de enero a mayo de 2006 (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)

VALORES (mm)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Mínimo	0	0	0	0	0
Medio	0	0	0	0.08	1.33
Máximo	0	0	0.1	1.5	12.8

Se observa que durante el periodo de muestreo las precipitaciones más altas se presentaron durante el mes de mayo y abril con 12.8 y 1.5 mm respectivamente. Las precipitaciones más bajas se presentaron durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo con valores nulos. Se puede observar que los cinco primeros meses del año presentan valores de precipitación bajos, conformando el periodo seco que tiene lugar en la ciudad.

2.1.2 Velocidad del viento. La velocidad media mensual para los cinco meses de registro se muestran en la Tabla 4. Se observa que los meses que registran los valores máximos más altos son febrero y marzo con 16.5 y 14 m/seg respectivamente. Igualmente estos meses representan los valores promedio más altos con 3.2 y 3.3 m/seg cada uno. Mayo se comporta como el mes con menor valor promedio 2.4 m/seg.

Tabla 4. Valores promedio de velocidad del viento durante los meses de enero a mayo de 2006 en m/seg. (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)

VALORES (m/seg)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Mínimo	1.4	1.7	2.3	1.7	1.7
Medio	2.7	3.2	3.3	2.8	2.4
Máximo	13.2	16.5	14	10.5	9.8

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

2.1.2.1 Frecuencia de los vientos. La dirección predominante de los vientos, durante el periodo de muestreo, es la Norte presentando sus valores máximos en los meses de Febrero y Marzo. La dirección Sur adquiere importancia durante los meses de Abril y Mayo, como se muestra en la Tabla 5.

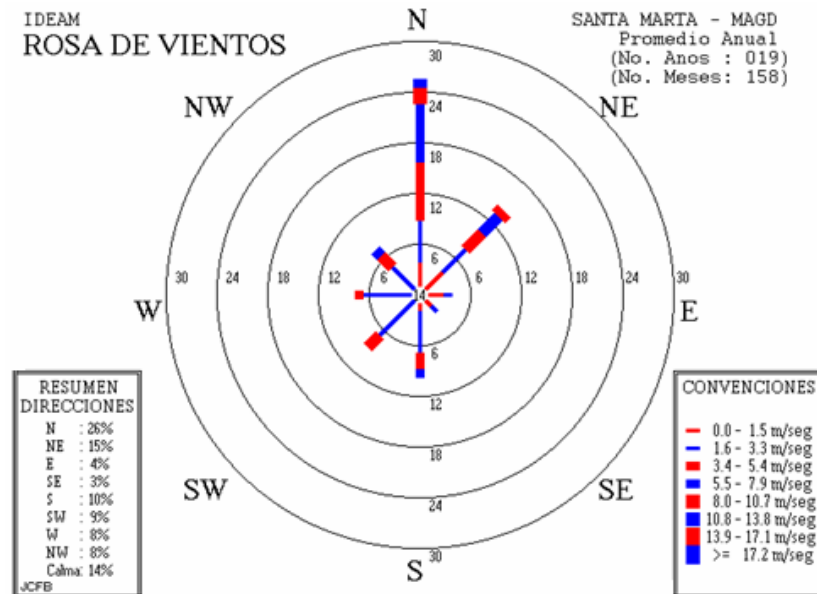
Tabla 5. Valores de Frecuencia de Dirección del viento (%) durante los meses de enero a mayo de 2006 (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)

DIRECCIÓN	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
N	37	39	51	36	33
NE	18	12	8	8	12
E	10	7	2	4	6
SE	6	4	4	4	10
S	5	8	5	13	12
SW	13	15	15	10	9
W	6	6	5	10	12
NW	3	6	9	14	16
CALMAS	1	1	1	1	0

2.1.2.2 Rosa de los vientos. Los resultados de la Rosa de Vientos se presentan en la Figura 5 como una función de las velocidades y direcciones del viento, para 8 direcciones predominantes. En esta gráfica se observa un predominio en la dirección del viento de Norte, Noroeste, (soplando al Sur, suroeste, respectivamente). Se observa que la dirección predominante es Norte, con un 26% de frecuencia acumulada, seguida por las direcciones Noreste y Sur, con un porcentaje acumulado porcentual de 15% y 10%, respectivamente.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Figura 5. Direcciones predominantes de los vientos en Santa Marta

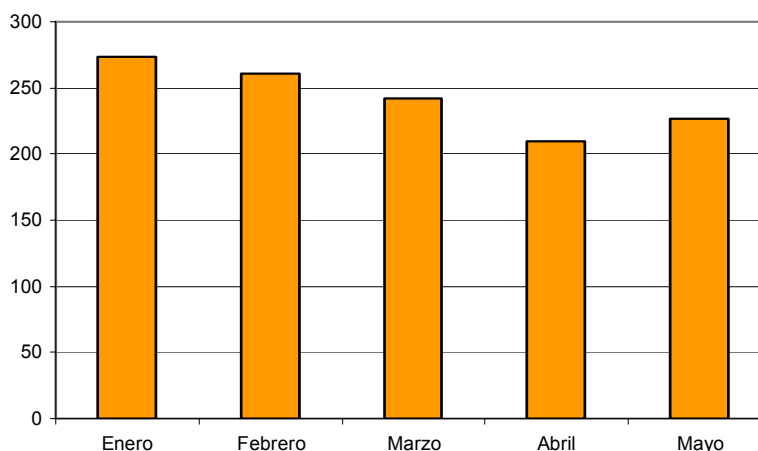


2.1.3 Brillo solar. En Santa Marta la deficiencia de humedad y la baja frecuencia de nubosidad en la atmósfera producen un aumento del brillo solar presentado valores bastante significativos hasta 280 horas. En la Figura 6 se puede observar las variaciones del brillo solar en los diferentes meses del año.

Tal y como se observa en la Figura 6, Enero y Febrero se presentan como los meses con mayor valor de brillo solar con 274 y 261.1 horas, respectivamente, declinando en Abril con un valor de 209.7 horas hasta sufrir un ligero aumento en el mes de Mayo hasta 227.1 horas.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Figura 6. Brillo solar en Santa Marta (Horas) durante los meses de Enero a Mayo. (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)



2.1.4 Temperatura. Los meses de Enero a Mayo presentaron temperaturas desde los 22°C hasta los 34 °C. Los meses de Abril y Mayo fueron los mas calurosos con 28.8 y 29.1 °C respectivamente; Febrero y Marzo presentaron los valores máximos más altos durante todo el periodo con 33.2 y 34 °C. La Tabla 6 detalla los valores de temperatura máximos, medios y mínimos que se presentan en todos los meses del año.

Tabla 6. Temperatura media en Santa Marta (°C) durante los meses de Enero a Mayo (Estación Aeropuerto Simón Bolívar)

VALORES °C	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Mínimo	22.7	22.7	24.7	25.4	25.3
Medio	27.7	27.6	28.5	28.8	29.1
Máximo	33	33.2	34	33.1	32.8

3. METODOLOGÍA

3.1 LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

En la presente investigación se utilizaron cuatro estaciones de monitoreo. Las estaciones Ejecutivos, Cajamag y Carbogranes pertenecen a la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la ciudad y los datos fueron facilitados por la Corporación Regional Autónoma del Magdalena (CORPAMAG). La estación Unimag se ubicó dentro de las instalaciones de la Universidad del Magdalena, dentro de la estación meteorológica de la misma como se muestra en la Figura 7; a fin de establecer su ubicación se tuvieron en cuenta previamente los siguientes criterios:

Ubicación: El equipo muestreador debe estar ubicado en una zona donde esté expuesto a todas las direcciones del viento. Preferiblemente en sitios abiertos, donde se encuentre lejos de paredes, edificios, etc., que puedan causar interferencia en la medición. El monitor se instala aproximadamente 3 m sobre el nivel del suelo o 1.5-2 m sobre el techo o piso de la terraza, en caso de que se instale sobre el techo de un edificio o casa.

Características de las fuentes: Se pretende evaluar la calidad del aire del sector por lo cual la estación de muestreo debe estar localizada en sitios donde se pueda evaluar el impacto de diversos focos contaminantes como son vías vehiculares, entre las cuales destacamos la vía vehicular por la cual transitan grandes focos contaminadores como carros, camiones, buses, busetas, etc.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Criterios operacionales: Debido a que el equipo muestreador de alto volumen (Hi-Vol), funciona con 110 V, se hace necesario asegurar que el lugar de ubicación de la estación cuente con energía eléctrica permanente de tal manera que los muestreos no sean interrumpidos.

Seguridad del equipo: Se debe garantizar que el equipo esté ubicado en un lugar seguro, preferiblemente cercado donde se evite la manipulación de éste por personas extrañas y/o robo de sus partes.

Figura 7. Localización de la estación Unimag, nótese la estructura sobre la cual esta ubicado el Hi-Vol para obtener la altura adecuada de medición.



La Tabla 7 detalla las coordenadas de ubicación de las estaciones de muestreo. A continuación se muestra la distribución de las estaciones dentro de la ciudad.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Tabla 7. Estaciones de monitoreo del material particulado

ESTACION	X	Y
UNIMAG	988218.6712	1733287.603
EJECUTIVOS	985302.6189	1734729.402
CAJAMAG	985622.813	1734662.921
CARBOGRANELES	985071.3621	1736338.525

3.2 PERIODO DE OBSERVACIÓN

La determinación de material particulado suspendido se realizó durante un período de (5) cinco meses, correspondientes a los meses de enero a mayo del 2006. Se utilizaron equipos muestreadores de alto volumen, colectando muestras diarias durante 24 horas en la estación Unimag; en las estaciones Ejecutivos, Carbogranes y Cajamag se tomaron muestras cada (3) tres días durante el mismo periodo de tiempo.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

La toma de la muestra de PTS se efectúa por medio de una bomba, la cual succiona un volumen de aire a través de un filtro, donde quedan atrapadas todas las partículas que se mantienen flotando en el aire durante un cierto tiempo. Como el muestreo se lleva a cabo por filtración, para elegir el método más adecuado se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- El tipo de partículas a recoger; las partículas finas recogidas en condiciones de humedad extremadamente alta pueden absorber humedad superficial. Esta humedad puede obturar un filtro provocando la disminución del flujo al mismo tiempo perjudicando la bomba de aire.

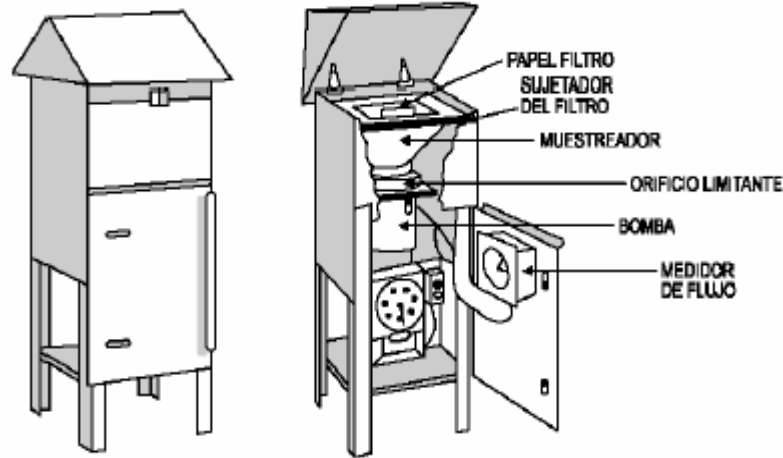
- Naturaleza química del filtro; algunas partículas orgánicas se pueden disolver en forma instantánea en determinados filtros sintéticos mientras que ciertos gases como NO₂ o SO₂ pueden atacar o descomponer algunos filtros de membrana.

En general, la eficiencia de recolección de los filtros depende de ciertas variables como son la humedad relativa del aire, tamaño de las partículas, forma y rugosidad de su superficie, tiempo de contacto, temperatura ambiente y propiedades químicas del material filtrante. En esta investigación se utilizaron filtros de fibra de vidrio, los cuales se pesan bajo condiciones de humedad y temperatura controladas, antes y después de su utilización con ayuda de una balanza analítica para determinar la ganancia de peso neto.

3.3.1 Equipo utilizado. En el desarrollo de la investigación se utilizaron aparatos muestreadores de alto volumen comúnmente llamados “Hi-Vol”, que consisten en una bomba que succiona un volumen de aire que varía entre 1,12 a 1,70 m³/min, durante 24 horas al interior de una caseta o coraza de protección. El medidor de alto volumen dispone de un portafiltros, un flujómetro sencillo incorporado a la derecha del motor y un controlador de tiempo. La Figura 8 esquematiza el muestreador de alto volumen Hi-Vol.

Figura 8. Estructura del muestreador de alto volumen (Hi-Vol) utilizado para la medición de PTS en cada una de las estaciones

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST



Fuente: EPA, 1996

Este equipo permite recolectar partículas hasta de 100 micrones, dentro de las cuales se encuentran partículas respirables y no respirables (Saldarriaga, 2004). Siguiendo el estándar EPA 40 CFR Pt. 50 App. B (EPA, 1996) se colectaron muestras diariamente en un periodo de 24 horas en filtros de fibra de vidrio que fueron pesados antes y después de la colección de material particulado; la concentración de partículas suspendidas en el aire se calculó dividiendo la diferencia de masa de partículas colectadas en el filtro y el volumen de aire muestreado durante 24 ± 1 hora y se expresa en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.3.2 Procedimiento de monitoreo

3.3.2.1 Preparación de los filtros.

- Se codifica el filtro, teniendo mucho cuidado de que este no se contamine o se rompa.
- Los filtros de fibra de vidrio tienden a acumular humedad, lo que llevaría a la sobreestimación de las concentraciones de partículas. Por lo cual es necesario someterlo a desecación durante un periodo de 24 horas, antes de su utilización.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

- Se pesan los filtros en una balanza analítica y se registra el peso de los filtros en un cuaderno de anotaciones. Hacer referencia a la foto (ver Figura 9)
- El filtro de trabajo se almacena adecuadamente dentro de una carpeta o portafiltro adecuado hasta ser llevado al sitio de muestreo.
- Una vez usado el filtro se coloca el filtro nuevamente en el desecador para eliminar la humedad adquirida, durante un periodo de 24 horas mínimo.
- Después de la desecación, el filtro es pesado tres veces para obtener un valor promedio, y se registra el peso. (ver Figura 10).
- El filtro expuesto se dobla por la mitad, se coloca en un sobre de papel de aluminio y se etiqueta, quedando almacenado para cualquier análisis posterior.

Figura 9. Pesaje de filtros después de utilización en balanza analítica con precisión de 0.1 mg



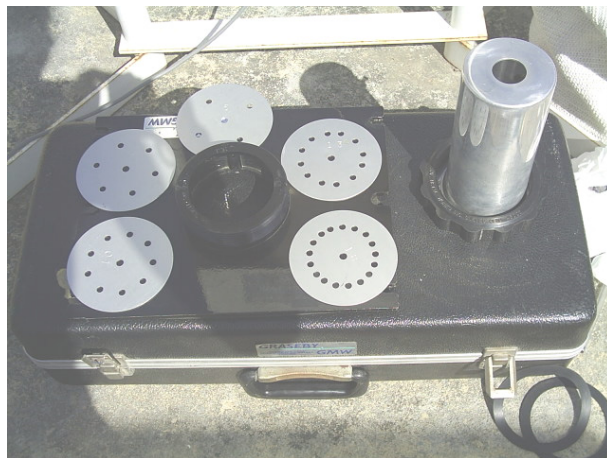
DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Figura 10. Dsecación de filtros después de su utilización para eliminación de humedad en los mismos



3.3.3 Calibración el equipo. La Figura 11 muestra el kit de calibración utilizado en la presente investigación, el cual contiene cinco platos de 18,13, 10, 7 y 5 agujeros, que ofrecen diferente resistencia al flujo de aire.

Figura 11. Kit de Calibración del Hi-Vol con las diferentes partes que lo conforman (platos perforados, manguera, cilindro y sujetador de platos)



DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Los pasos de la calibración son:

- Se enciende el motor por un instante, se apaga y se monta el plato 18; luego se conecta el manómetro a la salida del Kit.
- Se conecta el manómetro con el orificio de medición del motor.
- Se enciende el motor y se deja por un periodo de 5 minutos.
- Se efectúan lecturas del manómetro en Kit y en la salida del motor.
- Se realiza el mismo proceso para los platos 13, 10, 7 y 5.
- Mediante la curva de calibración del Kit, se convierte la caída de presión del medidor en caudales a condiciones estándar.
- Se construye la curva de calibración del Hi-Vol a las condiciones de temperatura y presión, relacionando el caudal estándar con la lectura del tipo de medidor del Hi-Vol.

Figura 12. Procedimiento de calibración del Hi-Vol



DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

En la presente investigación se procedió a calibrar el equipo semanalmente, con el objetivo de tomar muestras lo más representativas posible.

3.3.4 Exposición y recolección del filtro.

- Se acciona el medidor de alto volumen durante aproximadamente (5) cinco minutos con la manguera que conduce al medidor de flujo sin conectar para purgar el aparato.
- Se conecta la manguera al medidor de flujo y se deja funcionando (5) cinco minutos adicionales, hasta que el flujo se estabilice.
- Se desconecta el medidor de alto volumen, se coloca el papel filtro sobre el portafiltro, se coloca el marco sobre el papel filtro y se cierra la tapa del aparato.
- Se acciona el equipo dejándolo funcionar por 24 horas, anotando el tiempo inicial. Se lee el flujo, con ayuda de un manómetro y se anota el valor observado.
- Al final de la medición de 24 horas, se anota el tiempo final y el flujo final.
- Se desconecta el medidor de alto volumen. El papel filtro expuesto se retira del portafiltro, se dobla por la mitad para no perder el material particulado recolectado y se coloca en un sobre de papel aluminio.
- El filtro se coloca en el desecador durante 24 horas como mínimo.
- Se pesa el filtro tres veces.

3.4 CALCULO DE LAS CONCENTRACIONES DE PTS

De la lectura inicial (H_{inicial}) y final (H_{final}) del flujo se obtiene el promedio ΔH , el cual se convierte por medio de la curva de calibración en el flujo de aire succionado durante el muestreo (Q_{real} ; m^3/min).

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

$$\Delta H = \frac{H_{inicial} + H_{final}}{2}$$

Las partículas totales suspendidas en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se calculan de la siguiente manera:

$$TSP(\mu\text{g} / \text{m}^3) = \frac{(P_{final} - P_{inicio})}{Q_{real} * t_{muestreo}}$$

Donde:

P_{inicio} = peso inicial del filtro en microgramos (μg)

P_{final} = peso final del filtro en microgramos (μg)

Q_{real} = caudal real en m^3/min

$t_{muestreo}$ = tiempo de muestreo en minutos

Durante la calibración del equipo de medición se registran los datos de la lectura manométrica para cada plato de calibración. El caudal a condiciones estándar (25°C y 760 mm Hg) se halla en la gráfica de calibración del Kit, interceptando en la curva, la lectura manométrica del orificio en pulgadas de agua.

Luego se grafica un plano cartesiano la lectura manométrica del muestreador (pulgadas de H_2O) contra el caudal estándar (m^3/min).

Se intercepta la curva de calibración del muestreador con el valor de la lectura manométrica promedio y se halla el caudal de entrada de aire durante el tiempo de monitoreo, obteniendo el Q_{real} de muestro.

3.5 SIMULACIÓN DE FUENTES Y RECEPTORES

Para simular con la ayuda del modelo ISCST se requieren conocer ciertos parámetros relacionados con la fuente de emisión, así mismo se hace necesario alimentar el modelo con datos meteorológicos horarios para todo el periodo de muestreo entre los que se destacan la dirección y velocidad del viento, precipitación, nubosidad y radiación solar, altura de mezcla, entre otros. A continuación se presenta la metodología de cálculo utilizada para los parámetros más importantes.

3.5.1 Fuentes móviles de línea. Para efectos de la simulación con el software ISCST se evaluó la influencia del tráfico en las vías más cercanas a la estación Unimag, sobre la calidad del aire, para lo cual se tomaron fuentes de tipo lineal correspondientes a las vías La Troncal, Avenida del Río y Carrera 21 E; con el fin de determinar el número de vehículos que transitan por estas se hizo necesario acudir a aforos vehiculares basados en un proyecto de investigación² que arrojó los resultados mostrados en la Tabla 8.

Cabe resaltar que al no contar con aforos vehiculares en la Carrera 21E, se supuso un valor igual al de Avenida del Río por su similitud en cuanto al tipo de vehículos que por allí transitan.

Tabla 8. Aforos vehiculares en las vías La troncal, Avenida del Río y Carrera 21E teniendo en cuenta vehículos pequeños y tractomulas.

VÍA	DIA	NUMERO DE VEHICULOS PEQUEÑOS	NUMERO DE TRACTOMULAS
LA TRONCAL	Lunes	3501	491
	Martes	3164	318

² Riátiga, Diana. Inventario de emisiones atmosféricas por fuentes móviles en la ciudad de Santa Marta, 2006

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

	Miércoles	3598	489
	Jueves	3629	207
	Viernes	3828	70
	Sábado	2534	68
	Domingo	2743	188
	Promedio	3285	262
AVENIDA DEL RÍO	Lunes	3878	
	Martes	3879	
	Miércoles	4024	
	Jueves	3057	
	Viernes	2830	
	Sábado	3767	
	Domingo	2207	
	Promedio	3377	
CARRERA 21E	Lunes	3878	
	Martes	3879	
	Miércoles	4024	
	Jueves	3057	
	Viernes	2830	
	Sábado	3767	
	Domingo	2207	
	Promedio	3377	

3.5.1.1 Cálculo de emisión. La emisión de material particulado asociada a fuentes de línea corresponde a la dispersión de contaminantes que se encuentran en la primera capa laminar por encima de la superficie de la fuente de línea, y que se debe al movimiento de los vehículos.

En esta modelación se consideraron tres fuentes de línea asociadas al tránsito vehicular, estas son: la Troncal, Avenida del Río y Carrera 21E, Teniendo en cuenta que estas son vías pavimentadas, la emisión asociadas a cada una de las vías se determinó mediante la expresión E. extraída de la Sección 13 del Compilation of Air Pollution Control - Emission Factors -1995

$$E = K (sL/2)^{0.65} * (W/3)^{1.5}$$

Donde:

E: es la emisión en Kg por vehículo-Km recorrido. Es decir, el resultado se

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

multiplica por el número de kilómetros recorridos en el periodo de tiempo que se desee analizar. En este caso se toma una base de cálculo de 1 día y una frecuencia por vehículo de 1. Así, el resultado se multiplicará por el número de vehículos diarios.

K: es el factor según el tamaño de partículas de finos (0.8 para material particulado menor a 30 micrómetros)

SL: es la concentración de finos por área, la cual oscila entre 0.4 y 2.5. En este caso se asumió el valor medio, de 1.45.

W: es el peso de los vehículos = 1.5 ton para vehículo pequeño y 40 toneladas para tractomulas.

3.5.1.2 Coeficientes de dispersión. Los coeficientes de dispersión σ_y se calcularon dividiendo una extensión lineal (en este caso, se dividieron las vías en secciones iguales de 300 m de longitud) entre 4.3 y los coeficientes σ_z se obtuvieron por medio de la división de la altura de la fuente de emisión correspondiente a los exostos de los vehículos (se tomó un valor promedio para tractomulas y vehículos pequeños igual a 0.4m) entre 2.15, tal como se establece en U.S. EPA y según lo muestra la Figura 13.

Figura 13. Procedimientos para determinar las dimensiones laterales iniciales y las dimensiones verticales iniciales para fuentes lineales

TIPO DE FUENTE	PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LA DIMENSIÓN INICIAL
a- Dimensiones Iniciales Laterales (σ_{y0})	
Fuente Volumétrica Sencilla	σ_{y0} = longitud de lado dividida entre 4.3
Fuente en línea representada por fuentes volumétrica adyacente	σ_{y0} = longitud de lado dividida entre 2.15
Fuente en línea representada por fuentes volumétricas separadas	σ_{y0} = distancia de centro dividida entre 4.3
b- Dimensiones Iniciales Verticales (σ_{z0})	

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Fuente con bases superficial ($h_o = 0$)	σ_{zo} = dimensión vertical de la fuente dividida entre 2.15
Fuente elevada ($h_o > 0$) sobre o adyacente a un edificio	σ_{zo} = altura del edificio dividida entre 2.15
Fuente elevada ($h_o > 0$) no sobre o adyacente a un edificio	σ_{zo} = dimensión vertical de la fuente dividida entre 4.3

Fuente: User's Guide for the Industrial Source Complex (ISCST), 1995

3.5.2 Datos meteorológicos

Estabilidad atmosférica. La estabilidad atmosférica se determinó teniendo en cuenta los datos horarios de velocidad del viento y la radiación solar, que varía entre 220 a 225 W/m² en la ciudad, según lo mostrado en la Tabla 9.

Tabla 9. Estabilidad atmosférica basada en la velocidad del Viento y Radiación global

Velocidad Viento (m/s)	Radiación Solar Global (W/m ²)					
	>700	700-540	540-400	400-270	270-140	<140
<2	A	A	B	B	C	D
2-3	A	B	B	B	C	D
3-4	B	B	B	C	C	D
4-5	B	B	C	C	D	D
5-6	C	C	C	C	D	D
>700	C	C	D	D	D	D

Fuente: Benavides, 2002

3.5.2.1 Metodología de cálculo de la altura de mezcla. La altura de mezcla es uno de los parámetros meteorológicos más importantes que deben ser introducidos al modelo ISCST. Si bien las alturas de mezcla no se miden directamente, es posible obtener cálculos aproximados a partir de las mediciones meteorológicas rutinarias (Benavides, 2002). Para calcular la altura de mezcla se debe conocer los promedios horarios de las variables meteorológicas medias tales

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

como la velocidad del viento, la temperatura del aire, la radiación solar y la estimación a partir de ellas de los parámetros turbulentos como el flujo de calor sensible y la velocidad de fricción (Benavides, 2002).

El cálculo de los parámetros turbulentos se muestra a continuación:

Flujo de calor sensible: caracteriza el nivel de convectividad propia de las inmediatas vecindades del suelo y se relaciona a la turbulencia térmica:

$$H_0 = 0.3 R_g + A$$

Donde:

A: $2.4 N - 25.5$ y el valor de H_0 debe ser mayor de cero en horas diurnas

R_g : Radiación solar global

N: Nubosidad en octas

Velocidad de fricción: es la que caracteriza el nivel de turbulencia mecánica generado por la cortante del viento (León, 2002). Este parámetro se calcula a través del conocimiento del parámetro H_0 y de la relación de similitud que describe el perfil de velocidad del viento en la capa superficial:

$$U_* = U_0 [1 + \alpha \ln(1 + bQ_0/Q_*)]$$

Donde:

$$U_0 = \frac{KU}{\ln(Z_m/Z_0)}; \quad \text{y} \quad Z_m = Z_r - 4Z_0$$

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

$$Q_0 = H_0 / \rho C_p \quad \text{y} \quad Q_* = (TU_0^3) / (Kg / Z_m)$$

$$\alpha = [0.128 + 0.005 \ln(Z_0 / Z_m)] \dots \text{si} \dots Z_0 / Z_m \leq 0.01$$

$$\alpha = [0.107 \dots \text{si} \dots Z_0 / Z_m > 0.01$$

$$b = 1.95 + 32.6 (Z_0 / Z_m)$$

En las anteriores relaciones, K es la constante de Von Harman (0.41), g es la gravedad (9.8 m/s), Z es la altura del anemómetro donde se hace la medición del viento, Z₀ es la rugosidad superficial (para este caso se toma el valor de 1 que es el asignado para el tipo de suelo urbano), ρ es la densidad del aire (para Santa Marta el valor promedio es de 1.2018) y C_p es el calor específico a presión constante.

Para el cálculo de la densidad y el calor específico se utiliza la siguiente expresión:

$$\rho C_p = 350.175 * P/T$$

Donde P es la presión atmosférica en milibares (para este caso se tomará el valor promedio para Santa Marta de 1000).

Finalmente la altura de mezcla se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$H_{mezcla} = 1330 U_*$$

3.6 DESCRIPCIÓN DEL MODELO ISCST

El modelo ISCST (Industrial Source Complex Short Term) es un modelo de pluma Gaussiano desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental EPA, que

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

pueden usarse para evaluar las concentraciones de una gran variedad de contaminantes asociadas a fuentes de complejo industrial de tipo puntuales, de área, línea y volumen, evaluando la dispersión de éstas hasta 50 *Km* alrededor de la fuente. Opera en los modos a largo plazo y a corto plazo.

El modelo ISCST trabaja con las siguientes opciones predefinidas por la EPA, como son la caída de flujo de cima de chimenea, uso de dispersión por flotación inducida, ascenso gradual de la pluma (excepto para caída de flujo por edificios), rutinas de procesamiento de calmas, estimaciones de concentración de límite superior para fuentes afectadas por la caída de flujos por edificios muy bajos y extendidos, exponentes de perfil del viento y gradientes térmicos potenciales. El usuario puede fácilmente asegurarse que se están usando estas opciones incluyendo palabras claves secundarias.

3.6.1 Selección de opciones de modelado - ruta CO. El usuario puede seleccionar ya sea parámetros de dispersión rural o urbana, dependiendo de las características de la ubicación de la fuente, además tiene la posibilidad de escoger entre cinco diferentes tipos de contaminantes diferentes a modelar tales como NO_x, SO_x, PTS, PM₁₀ y otros. El usuario tiene también la opción de calcular los valores de concentración o los valores de deposición para una ejecución en particular, se puede también seleccionar más de un tipo de información de salida (concentración y/o deposición) en una sola ejecución, dependiendo de los valores dados a uno de los límites de arreglo de almacenamiento. El usuario puede especificar que se calculen varios promedios de corto plazo en una sola ejecución del modelo ISCST, así como solicitar promedios de período completo (v.gr, anual).

3.6.2 Especificación de los datos de entrada de fuente – ruta SO. El modelo maneja cuatro tipos de fuente separados, identificados como fuentes de punto, volumétricas, de área o de fosa abierta. Ciertos tipos de fuentes en línea pueden

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

manejarse en ISC usando ya sea una hilera de fuentes volumétricas o como fuentes de área muy alargadas. Los parámetros de entrada pueden variar dependiendo del tipo de fuente. Pueden especificarse varios tipos de fuente en una sola ejecución, con las contribuciones combinadas de cada fuente para cada grupo. También se incluye la especificación de factores de tasa de emisión variable cuyas emisiones varían como función del mes, temporada, hora del día, clase de estabilidad, y categoría de velocidad del viento, o temporada y hora del día.

3.6.3 Especificación de una red receptora - ruta RE. El modelo ISCST es muy flexible a la hora de especificar la ubicación de los receptores porque permite al usuario definir redes de receptores cartesianas y/o polares, con cuadrículado de espaciamiento uniforme o no uniforme, así como ubicaciones del receptor discretas con referencia en un sistema cartesiano y polar en una misma ejecución. Si el usuario desea modelar impactos en ubicaciones específicas de interés, es posible especificar receptores de punto discretos que pueden escribirse como puntos cartesianos (X, Y) o como coordenadas de distancia y dirección polar.

3.6.4 Especificación de los datos de entrada meteorológicos - ruta ME. El usuario tiene flexibilidad para utilizar archivos con formato ASCII que contengan registros secuenciales por hora de variables meteorológicas. Para estos archivos ASCII, el usuario puede usar un formato ASCII predefinido, puede especificar el formato de lectura ASCII, o puede especificar lecturas libres de formato como datos meteorológicos. Un programa de utilidad llamado BINTOASC se incluye con el modelo ISC para convertir archivos de datos meteorológicos de varios tipos, sin formato, al formato ASCII predefinido que se usa en ISCST. El modelo procesa todos los datos meteorológicos disponibles en el archivo de entrada por omisión,

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

pero el usuario puede fácilmente especificar una selección de días o rango de días para procesar.

El modelo ISCST incluye un algoritmo de deposición seca y uno de deposición húmeda. El algoritmo de deposición seca necesita variables meteorológicas adicionales, tales como la longitud de Monin-Obukhov y velocidad de fricción superficial, las que proporciona el preprocesador PCRAMMET. El algoritmo de deposición húmeda en el modelo de corto plazo también necesita datos de precipitación, los cuales se encuentran como una opción en los datos preprocesados en PCRAMMET. Cuando se utilicen los algoritmos de deposición seca o húmeda en ISCST, los datos meteorológicos deben encontrarse en un archivo con formato ASCII.

3.6.5 Selección de opciones de información de salida - ruta OU. Los tipos básicos de información de salida disponibles en el modelo de corto plazo son: Resúmenes de valores altos (el más alto, el segundo más alto, etc.) por receptor para cada período de promediación y combinación de grupos de fuente; resúmenes del total de valores máximos (e.j., los 50 máximos) para cada período de promediación y combinación de grupo de fuente; y tablas de valores actuales resumidas por receptor para cada período de promediación y combinación de grupo de fuente para cada día de datos procesados. Otra opción es generar un archivo de coordenadas (X,Y) y diseñar valores (los segundos valores más altos en cada receptor para un período de promediación en particular y combinación de grupo de fuentes) que puedan fácilmente importarse a varios paquetes de graficación para generar mapas de contorno de los valores de concentración y/o deposición. Se pueden especificar archivos separados para cada período de promediación y combinación de grupos de fuentes de interés para el usuario.

3.7 GENERACIÓN DE ARCHIVO DE ENTRADA DE DATOS

3.7.1 Ruta Control. Para el desarrollo de esta ruta se seleccionaron las siguientes palabras clave:

- **MODELOPT:** se escogió el uso de las opciones regulatorias predefinidas del modelo con el uso de la palabra clave secundaria DFAULT, el área de trabajo se establecerá como urbana al ser Santa Marta una ciudad por medio de URBAN. En esta investigación se busca simular las concentraciones de PTS en el área de estudio por lo cual se utilizará la palabra clave CONC.
- **AVERTIME:** se especificarán los periodos de premediación de la concentración, la cual será de 24 horas durante todo el periodo.
- **POLLUTID:** el tipo de contaminante a simular será PTS.
- **ERRORFILL:** se generará un archivo ERRORS.OUT que incluye los mensajes de error fatal, advertencia e informativos que se presenten durante la simulación.

3.7.2 Ruta Fuente. En esta ruta se definen las palabras clave que definen las quince fuentes escogidas para la simulación.

- **LOCATION:** Se simuló un tipo de fuentes de volumen que sirve para simular fuentes en línea. Las vías escogidas para la simulación son La Troncal, Avenida del Río y Carrera 21, denominadas LINEA, LINEB y LINEC, respectivamente; cada una de ellas fue dividida en segmentos de igual distancia (300 m) y su punto medio se tomó como punto de

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

coordenadas planas (x,y). Como punto de referencia, se estableció para la estación Unimag las coordenadas (0, 0).

- **SRCPARAM:** para determinar los parámetros de descarga se utilizan las siguientes palabras claves secundarias:

Tasa de emisión volumétrica en g/s (VLEMIS).

Altura de descarga, corresponde a las alturas de los exostos de los vehículos que transitan las vías (RELHGT).

Dimensión lateral inicial del volumen en metros (SYINIT).

Dimensión vertical inicial del volumen en metros (SZINIT).

Estos parámetros se hallan de acuerdo a la metodología establecida para el cálculo de las emisiones y los coeficientes de dispersión ya mencionada.

- **SRCGROUP:** cada una de las vías LINEA, LINEB y LINEC se simularán por separado para establecer la contribución de cada una de ellas a los receptores. En otra corrida para el modelo se simulará la contribución de todas las fuentes al receptor por medio de la palabra clave secundaria ALL.

3.7.3 Ruta Receptor. Se establecerá una red de receptores con cuadrículado uniformemente espaciado y un receptor de tipo discreto ubicado en las coordenadas (0,0) correspondiente a la estación Unimag, para evaluar el aporte de cada una de las fuentes al punto de monitoreo y comparar los resultados obtenidos en campo con el simulado.

La red de receptores con cuadrículado uniformemente espaciado se define a través de la palabra clave GRIDCART e incluye un arreglo de puntos definidos por sus coordenadas X (este-oeste) e Y (norte-sur). Para definir la cuadrícula se

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

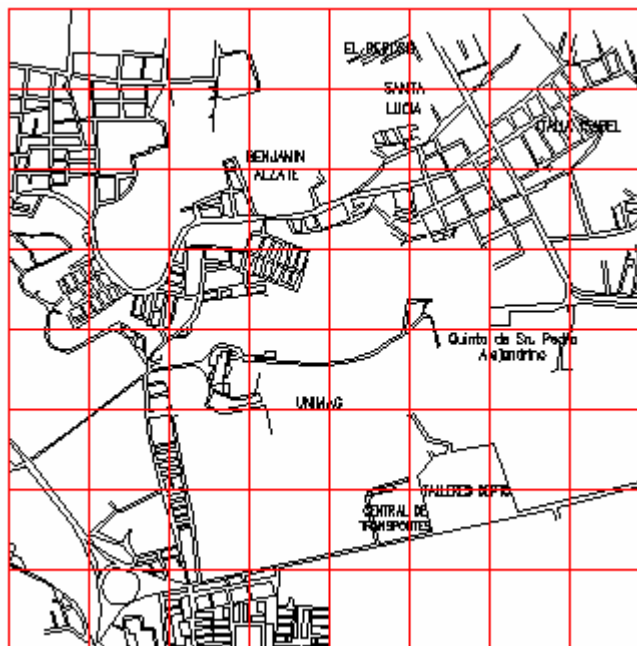
utilizaron las palabras clave XPNTS y YPTNS cuya línea en el archivo de datos será:

XPNTS -1200. -900. -600. -300. 0 300. 600. 900. 1200.

YPNTS -1200. -900. -600. -300. 0 300. 600. 900. 1200.

La anterior línea genera una cuadrícula de 9 x 9 (nueve puntos en la abscisa y 9 puntos en la ordenada para un total de 81 receptores), comenzando en el punto -1200 y terminando en el punto 1200 para x e y, con un espaciamiento de 300 m entre cada uno, que alcanza a cubrir perfectamente el área perteneciente a la estación de estudio, las vías y zonas aledaña, tal como se muestra en la Figura 14.

Figura 14. Red de receptores introducidos al modelo



3.7.4 Ruta Meteorológica. Los datos meteorológicos se introducen en un formato ASCII con ayuda de la herramienta Block de Notas. El nombre del archivo

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

meteorológico será `stamta.met`. Un parámetro importante es la altura del anemómetro sobre el nivel del piso y sus unidades, `ANEMHGHT`, que para la estación del Aeropuerto Simón Bolívar es de 10 metros.

Los valores de las variables que se incluirán en el archivo meteorológico, se basarán en los datos horarios reportados por la estación meteorológica del Aeropuerto Simón Bolívar para los meses de enero a mayo del presente año.

En el archivo ASCII por defecto, el primer registro del archivo de datos de entrada de datos meteorológicos contiene el número y año para las estaciones superficiales y de aire superior, especificadas. El resto de los registros en el archivo incluyen los datos meteorológicos secuenciales. El orden de las variables es: año, mes, día, hora, dirección del viento (en grados), velocidad del viento (m/s), temperatura ambiente (K), clase de estabilidad y altura de mezcla rural y urbana (m).

La clase de estabilidad y la altura de mezcla serán calculadas a partir de los datos horarios específicos mediante la implementación de la metodología ya expuesta.

Así mismo para especificar la información de la estación se introducen las palabras clave `SURFDATA` para la estación meteorológica superficial Y `UAIRDATA` para determinar alturas de mezclado. Para ello, se debe introducir el número de la estación, el año de los datos que se procesan y el nombre de la estación.

3.7.5 Ruta de Salida. Esta ruta contiene palabras clave que definen las opciones en la información de salida en las ejecuciones del modelo. En este caso se seleccionaron dos opciones de información de salida como son:

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

- **RECTABLE:** Controla la opción de salida para tablas de resúmenes de altos valores por receptor. En este caso se tomarán los primeros, segundos y terceros promedios de los valores más altos en un periodo de 24 horas.

MAXTABLE: Controla la opción de salida para tablas de resúmenes de valores máximos totales. En este caso la tabla mostrará los 50 promedios más altos en un periodo de 24 horas

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 CONCENTRACIONES DIARIAS DE PTS EN LA ESTACIÓN UNIMAG

La Tabla 10 muestra los valores de concentración obtenidas en la estación Unimag durante el periodo de muestreo.

Tabla 10. Concentraciones de PTS en la estación Unimag

NÚMERO DE FILTRO	FECHA	Concentración (µg/m3)	NÚMERO DE FILTRO	FECHA	Concentración (µg/m3)
Filtro 1	05-Ene-06	78.33	Filtro 57	09-Mar-06	32.61
Filtro 2	06-Ene-06	64.64	Filtro 58	10-Mar-06	209.51
Filtro 3	07-Ene-06	66.18	Filtro 59	11-Mar-06	201.84
Filtro 4	08-Ene-06	148.00	Filtro 60	12-Mar-06	135.31
Filtro 5	09-Ene-06	50.27	Filtro 61	13-Mar-06	37.35
Filtro 6	11-Ene-06	46.20	Filtro 62	16-Mar-06	99.14
Filtro 9	14-Ene-06	277.16	Filtro 64	17-Mar-06	263.70
Filtro 10	15-Ene-06	183.87	Filtro 66	19-Mar-06	149.82
Filtro 13	18-Ene-06	197.37	Filtro 67	20-Mar-06	162.84
Filtro 14	19-Ene-06	184.32	Filtro 68	22-Mar-06	238.44
Filtro 15	20-Ene-06	131.45	Filtro 70	28-Mar-06	138.47
Filtro 18	23-Ene-06	85.68	Filtro 71	29-Mar-06	112.39
Filtro 19	24-Ene-06	257.82	Filtro 73	31-Mar-06	89.93
Filtro 20	26-Ene-06	137.95	Filtro 75	03-Abr-06	97.34
Filtro 21	27-Ene-06	146.05	Filtro 76	04-Abr-06	120.66
Filtro 23	30-Ene-06	116.92	Filtro 77	05-Abr-06	110.68
Filtro 24	28-Ene-06	215.15	Filtro 78	06-Abr-06	136.09
Filtro 25	31-Ene-06	102.38	Filtro 79	07-Abr-06	133.70
Filtro 26	02-Feb-06	47.17	Filtro 80	08-Abr-06	100.74
Filtro 27	04-Feb-06	70.04	Filtro 81	09-Abr-06	91.84
Filtro 28	03-Feb-06	178.08	Filtro 82	18-Abr-06	78.05
Filtro 29	05-Feb-06	92.18	Filtro 83	19-Abr-06	75.96
Filtro 30	06-Feb-06	134.68	Filtro 84	20-Abr-06	78.82
Filtro 31	07-Feb-06	197.08	Filtro 85	21-Abr-06	120.09
Filtro 33	09-Feb-06	130.84	Filtro 86	22-Abr-06	85.07
Filtro 34	08-Feb-06	115.47	Filtro 89	27-Abr-06	118.02

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Filtro 35	10-Feb-06	289.08	Filtro 91	28-Abr-06	144.24
Filtro 38	17-Feb-06	171.94	Filtro 93	30-Abr-06	68.78
Filtro 39	16-Feb-06	142.43	Filtro 94	02-May-06	98.23
Filtro 40	18-Feb-06	227.61	Filtro 95	03-May-06	47.76
Filtro 41	19-Feb-06	229.53	Filtro 96	04-May-06	83.36
Filtro 42	20-Feb-06	187.89	Filtro 97	05-May-06	57.08
Filtro 43	21-Feb-06	236.39	Filtro 98	06-May-06	58.85
Filtro 44	22-Feb-06	196.04	Filtro 99	07-May-06	16.76
Filtro 45	23-Feb-06	185.91	Filtro 100	09-May-06	75.81
Filtro 46	24-Feb-06	294.28	Filtro 102	12-May-06	86.13
Filtro 47	25-Feb-06	252.81	Filtro 103	15-may-06	113.18
Filtro 48	26-Feb-06	136.83	Filtro 104	17-May-06	112.14
Filtro 49	27-Feb-06	148.60	Filtro 105	18-May-06	46.20
Filtro 50	02-Mar-06	114.27	Filtro 106	19-May-06	88.20
Filtro 51	03-Mar-06	109.87	Filtro 107	20-May-06	110.96
Filtro 52	04-Mar-06	150.88	Filtro 108	22-May-06	123.73
Filtro 53	07-Mar-06	108.16	Filtro 109	23-May-06	94.06
Filtro 54	06-Mar-06	145.41	Filtro 113	29-May-06	109.21
Filtro 55	05-Mar-06	261.95	Filtro 114	30-May-06	92.44
Filtro 56	08-Mar-06	47.96			

La Tabla 10 muestra la variación diaria de PTS en la estación Unimag durante todo el tiempo de estudio y su relación con la norma establecida. Se observa que algunos días se encuentran en blanco debido a que no fue posible la medición por diversos factores tales como suspensión de la energía eléctrica, mantenimiento del equipo, entre otros.

Se tomaron 114 muestras de PTS entre los meses de Enero a Mayo. No se encontró valores que sobrepasan los $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ningún día de medición. En Febrero 10 y 24 se reportaron valores muy próximos a los $300\mu\text{g}/\text{m}^3$, con concentraciones de $289.08\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $294.24\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Así mismo, los mínimos reportados se obtuvieron en los días 9 de Marzo y 7 de Mayo con valores de $32.61\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $16.76\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

4.2 CONCENTRACIONES DIARIAS DE PTS EN LAS ESTACIONES CARBOGRANELES, CAJAMAG Y EJECUTIVOS

Las concentraciones de PTS reportadas por las estaciones Carbogranes, Cajamag y Ejecutivos, suministradas por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la ciudad, se muestran a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Concentraciones de PTS en las estaciones Carbogranes, Cajamag y Ejecutivos

FECHA	EJECUTIVOS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CAJAMAG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CARBOGRANELES ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
05-ene-06	-	76.0	131.0
08-ene-06	-	107.4	141.1
11-ene-06	77.3	87.7	196.0
14-ene-06	83.2	67.9	211.5
20-ene-06	81.2	101.5	157.7
23-ene-06	86.8	118.4	245.9
26-ene-06	87.7	95.0	188.2
04-feb-06	95.9	109.6	154.6
07-feb-06	69.7	71.6	170.7
16-feb-06	100.1	101.1	190.8
19-feb-06	84.7	78.4	153.6
22-feb-06	99.6	115.9	225.5
25-feb-06	102.7	127.4	261.2
03-mar-06	46.7	83.5	229.8
06-mar-06	98.5	105.0	214.5
09-mar-06	94.3	100.5	154.7
12-mar-06	86.5	-	140.0
05-abr-06	113.6	-	176.5
08-abr-06	103.7	86.7	118.7
02-may-06	121.2	79.7	139.6
05-may-06	71.0	83.1	-
17-may-06	100.4	97.0	81.0
23-may-06	88.3	93.6	197.8
29-may-06	75.3	73.5	105.3

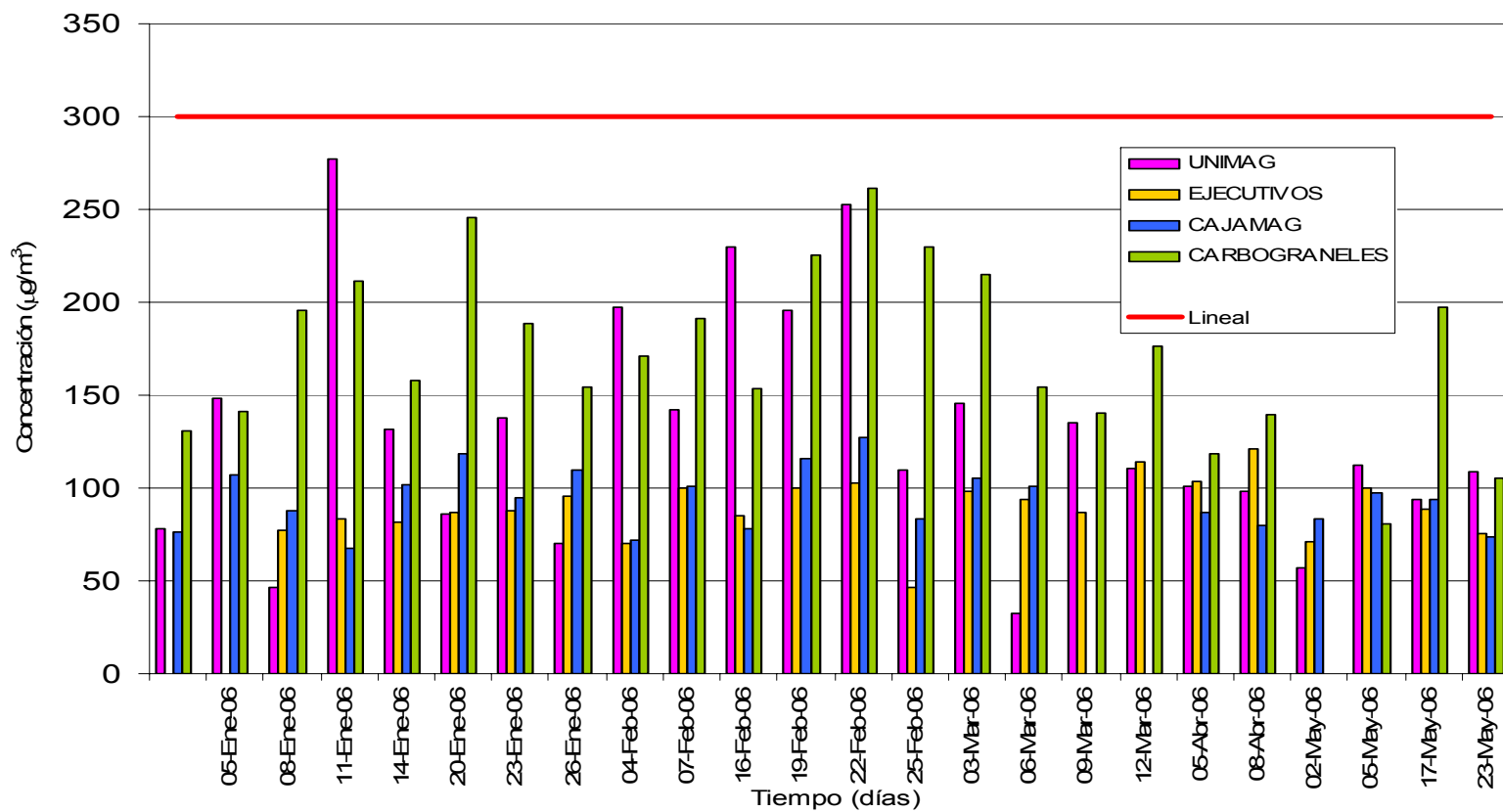
En ninguna de las estaciones se excedió el valor permisible por la norma. Los valores máximos registrados se presentaron los días 23 de Enero y 25 de Febrero en la estación Carbogranes, de $245.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $261.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Los

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

valores más bajos se presentaron en las estaciones Ejecutivos y Cajamag, los días 14 de Enero y 5 de Mayo, con valores de $67.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Figura 15 muestra la variación de PTS en todas las estaciones durante el periodo de muestreo.

Figura 15. Valores de concentración de PTS para todas las estaciones de muestreo



4.3 MEDIAS GEOMÉTRICAS MENSUALES

La Tabla 12 muestra las medias geométricas mensuales de PTS para cada una de las estaciones.

Tabla 12. Medias geométricas mensuales

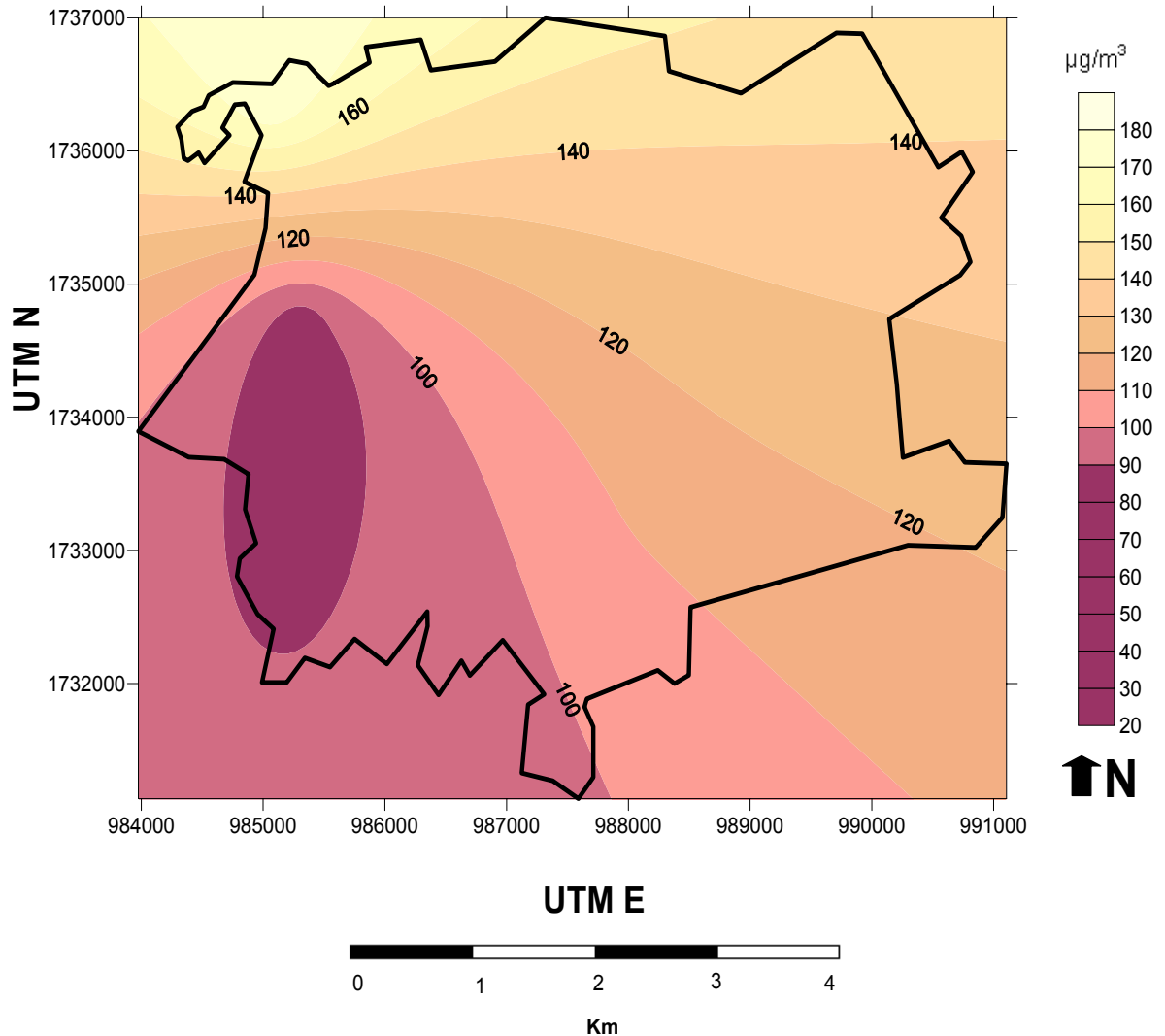
ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
UNIMAG	112.68	167.85	113.76	105.59	91.63
EJECUTIVOS	83.14	91.33	78.26	108.54	89.5
CAJAMAG	91.93	98.58	95.9	86.69	84.9
CARBOGRANELES	177.70	188.98	180.76	144.4	123.9

Los resultados de las muestras colectadas en la Universidad del Magdalena revelan que el valor de la media geométrica mensual más alta se presentó en febrero. Al comparar los datos de esta estación con las restantes (4) cuatro se observa que los mayores valores se reportan en la estación de Carbogranes, lo cual indica que esta estación corresponde a una zona de representación espacial crítica dentro de la ciudad, en esta estación la media geométrica mensual sobrepasa los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en todos los meses durante el desarrollo de la investigación, En la estación de la Universidad del Magdalena cuatro de los cinco valores de medias geométricas mensuales correspondientes a los meses de enero, febrero, marzo y abril superan los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$; la estación Ejecutivos sólo presenta (1) un valor de media geométrica mensual que supera los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de abril, mientras que la estación Cajamag no presenta ninguna media geométrica mensual por encima de los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las figuras 16, 17, 18, 19 y 20 presentan las isopleas de las medias geométricas mensuales obtenidas durante el periodo de muestreo.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

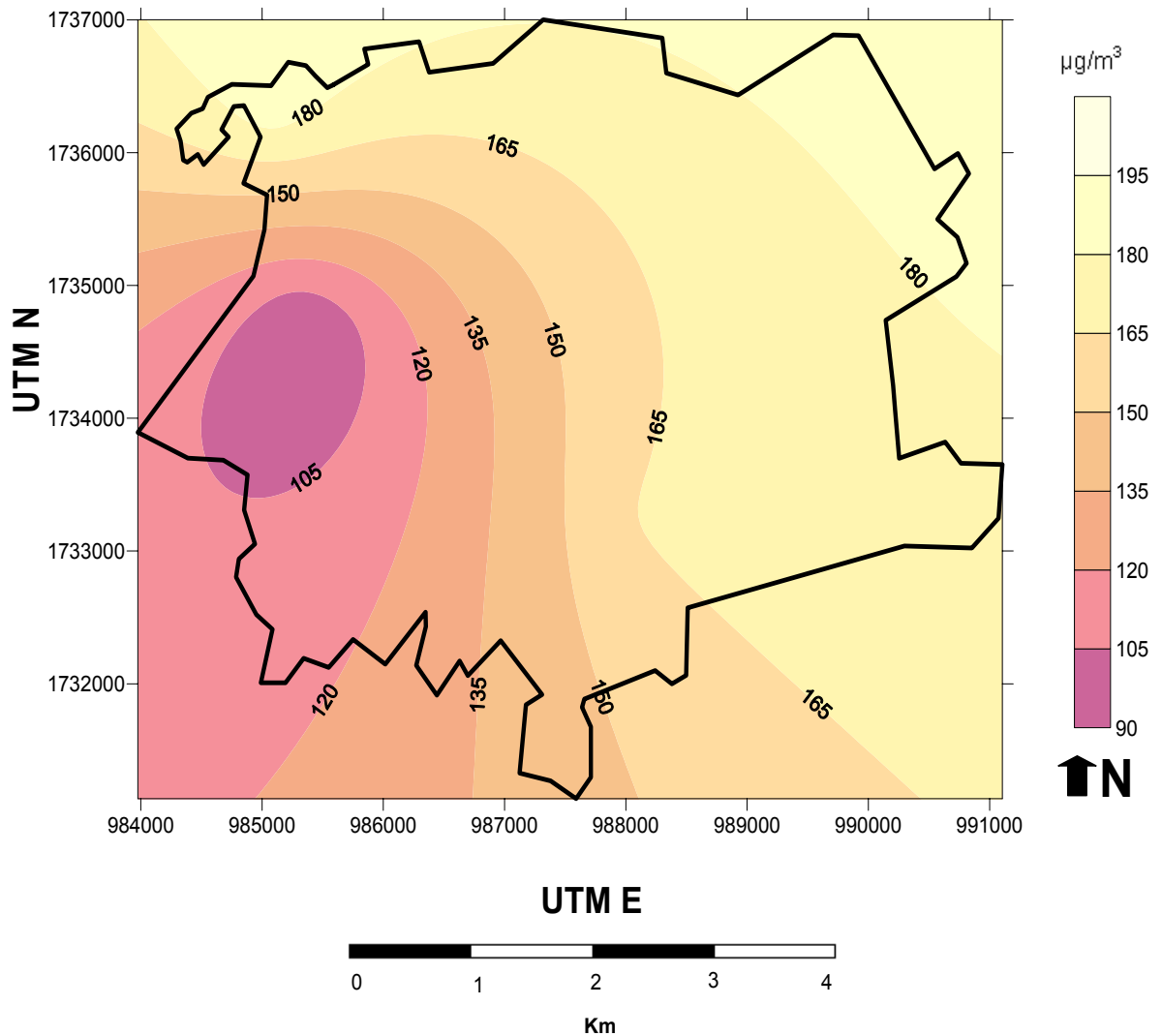
Figura 16. Isopletas medias geométricas del mes de Enero de 2006



La gráfica de las isopletas muestra claramente que las mayores concentraciones de PTS se presentaron al Norte de la ciudad, específicamente en la estación Carbogranales; por otro lado, la estación Ejecutivos, ubicada al Sureste, presenta las concentraciones más bajas de PTS. Se aprecia que las concentraciones de PTS para toda la ciudad va declinando en las direcciones Norte a Sur, siguiendo un patrón de dispersión hacia el Norte influenciados por la dirección de los vientos.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

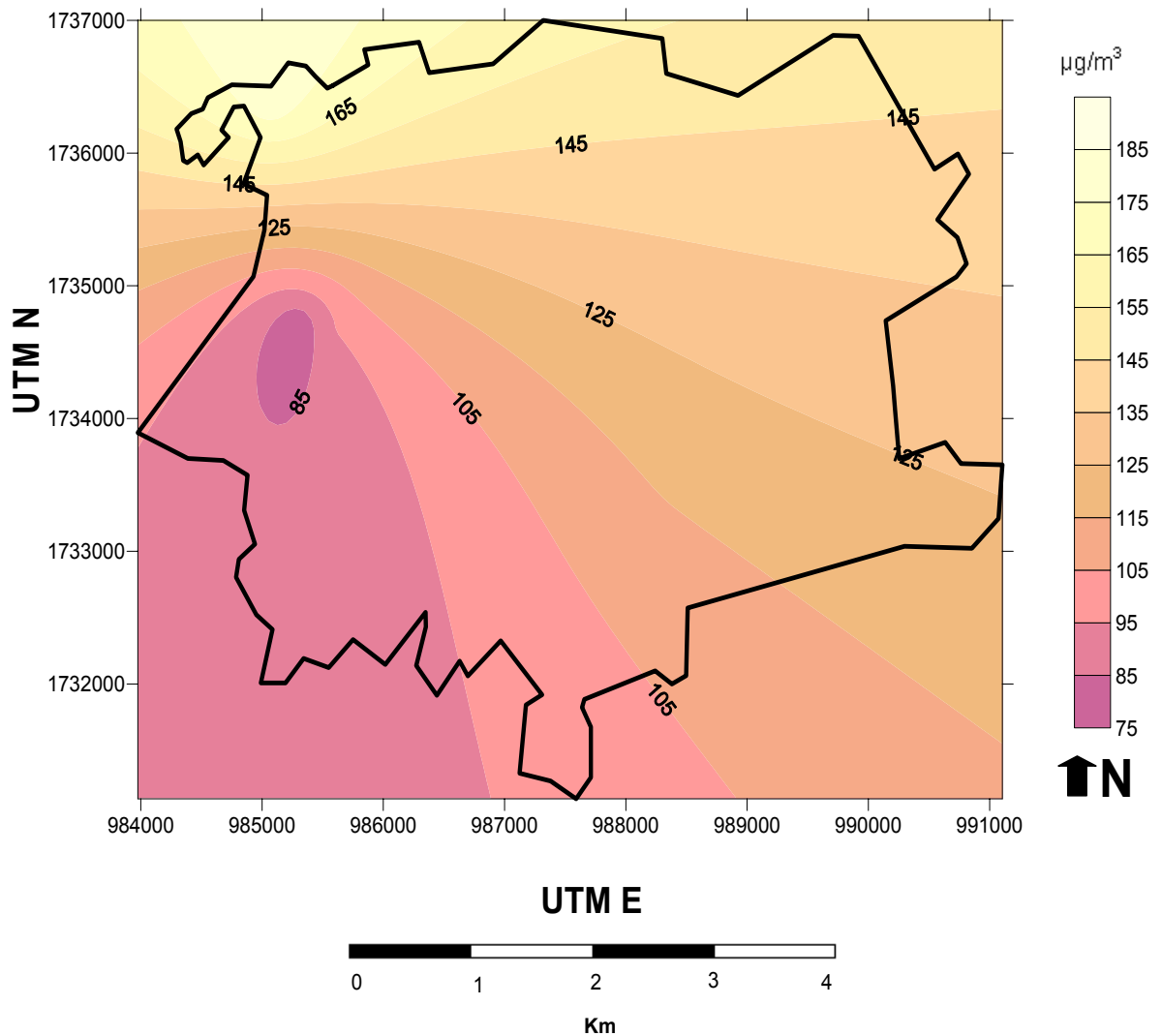
Figura 17. Isopletas medias geométricas del mes de Febrero de 2006



La gráfica de las isopletas señala que las mayores concentraciones de PTS se presentaron al Norte y Este de la ciudad, destacándose la estación Carbogranales y la estación Unimag; por otro lado, la estación Ejecutivos y la estación Cajamag, ubicadas al Sureste, presentan las concentraciones más bajas de PTS. Se aprecia que las concentraciones de PTS para toda la ciudad va declinando en las direcciones Este a Oeste, siguiendo un patrón de dispersión hacia el Noreste influenciados por la dirección de los vientos.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

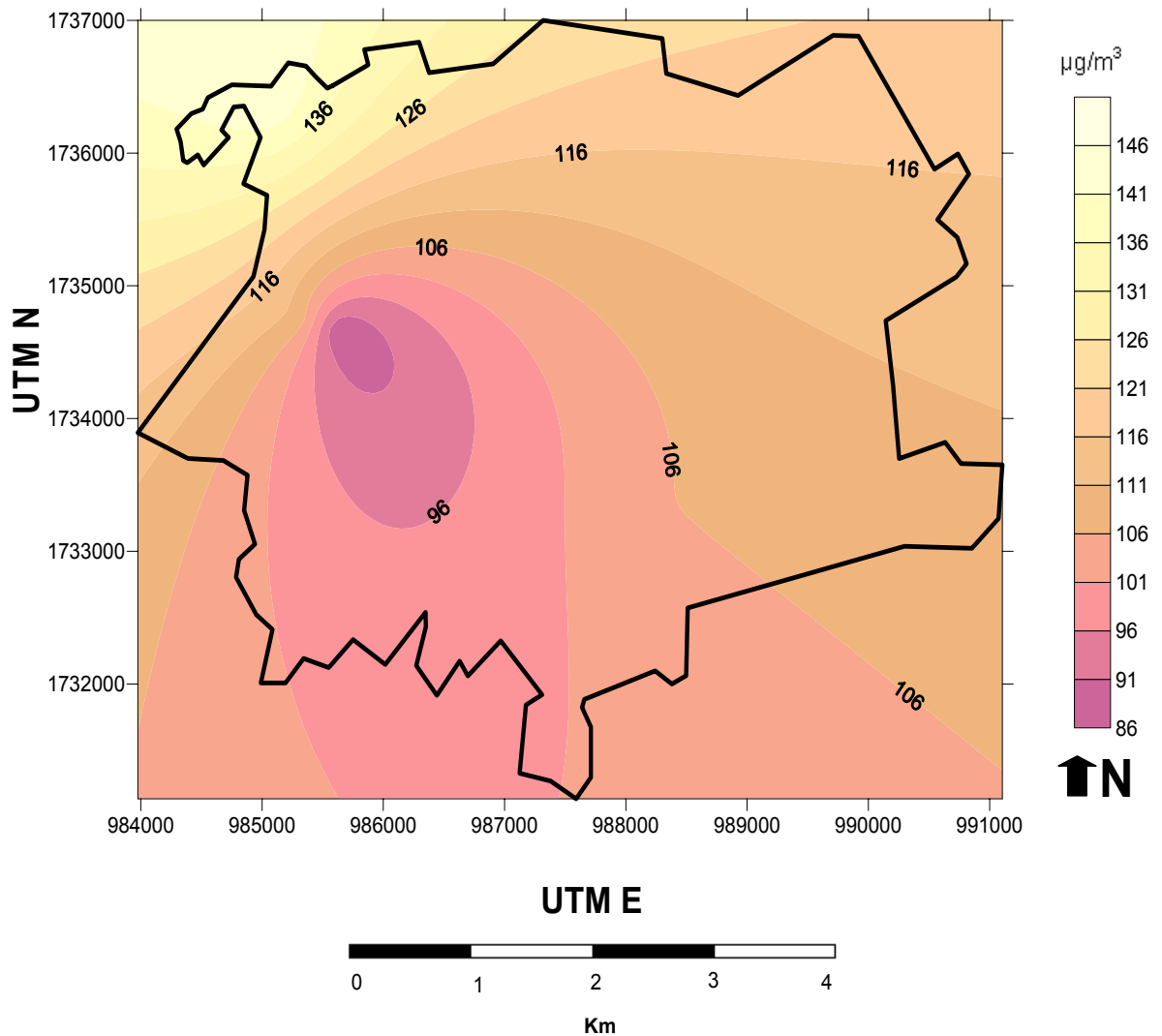
Figura 18. Isopletas medias geométricas del mes de Marzo de 2006



La gráfica de las isopletas muestra que las mayores concentraciones de PTS se presentaron al Noroeste de la ciudad, destacándose la estación Carbograngeles; por otro lado, la estación Ejecutivos y Cajamag, ubicadas al Suroeste, presentan la concentraciones más bajas de PTS. Se aprecia que las concentraciones de PTS para toda la ciudad va declinando en las direcciones Norte a Sur, siguiendo un patrón de dispersión hacia el Norte influenciados por la dirección de los vientos.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

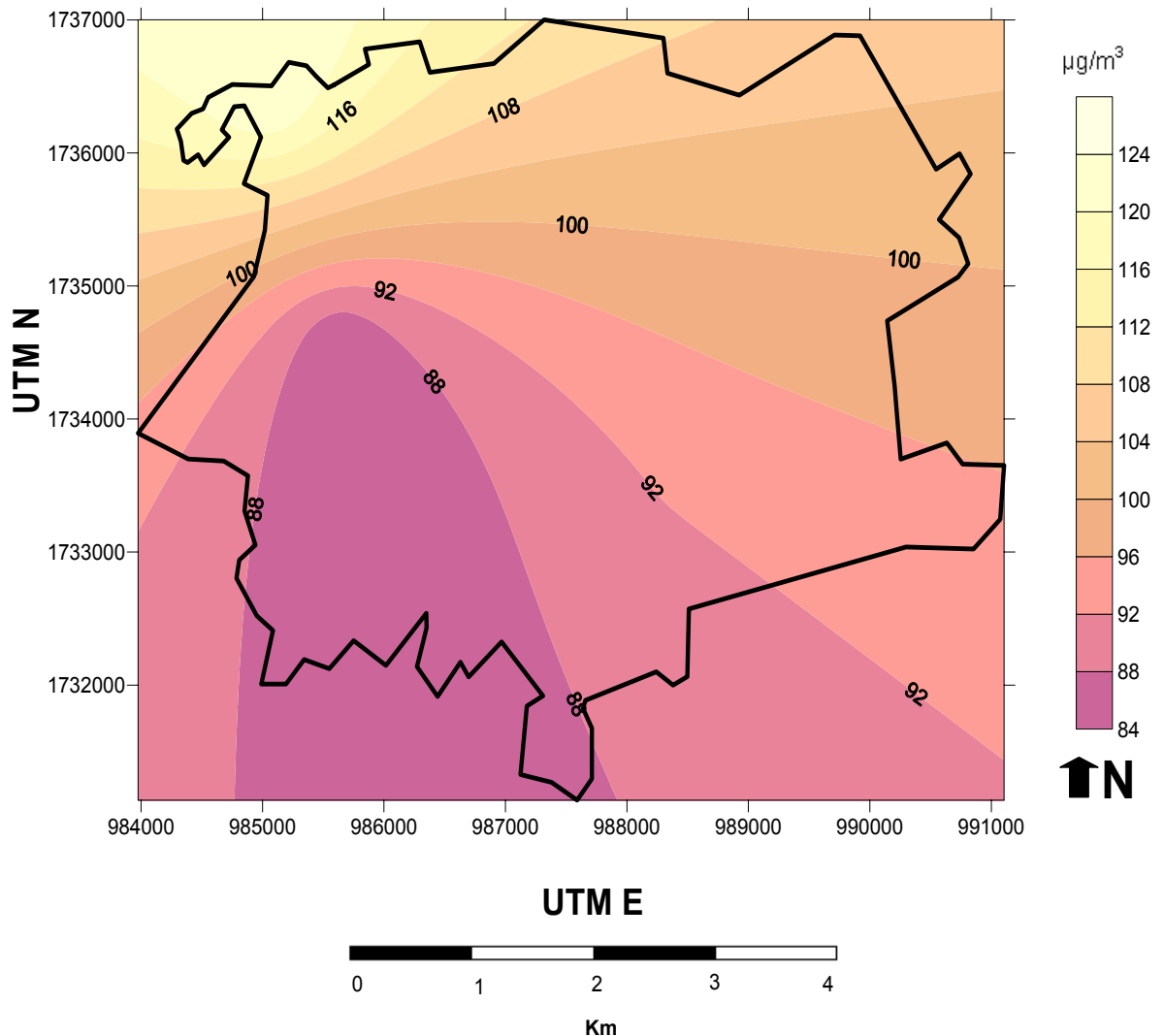
Figura 19. Isopletas medias geométricas del mes de Abril de 2006



La gráfica de las isopletas muestra que las mayores concentraciones de PTS se presentaron al Norte de la ciudad, destacándose la estación Carbogranales; por otro lado, la estación Ejecutivos y Cajamag, ubicadas al Suroeste, presentan la concentraciones más bajas de PTS. Se aprecia que las concentraciones de PTS para toda la ciudad van declinando en las direcciones Noroeste a Suroeste, siguiendo un patrón de dispersión hacia el Noroeste influenciados por la dirección de los vientos.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Figura 20. Isopletas medias geométricas del mes de Mayo de 2006



Las isopletas medias geométricas sugieren que las mayores concentraciones de PTS se presentaron en las estaciones Carbogranales y en la Universidad del Magdalena, probablemente debido a su cercanía con fuentes de emisión importantes de material particulado, tales como la Sociedad Portuaria y vías principales de tráfico vehicular. De igual manera se observa un patrón de dispersión hacia las direcciones noroeste, influenciados principalmente por la dirección de los vientos de la ciudad.

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para obtener la correlación entre las concentraciones de PTS reportadas por las estaciones de CORPAMAG y la Universidad del Magdalena, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Las mayores correlaciones se presentaron en las estaciones Cajamag y Carbogranes con un valor de 0.79 y 0.74% respectivamente, la correlación obtenida para la estación ejecutivos fue cercana a cero (-0.04%) lo cual no indica que necesariamente no exista correlación sino que las variables puedan presentar una relación no lineal.

Con el fin de determinar si existe una diferencia significativa entre las concentraciones reportadas por las estaciones monitoreadas se efectuaron análisis de varianza mediante la ANOVA. La tabla ANOVA de una vía muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza 95% entre la concentración media de PST en las estaciones monitoreadas. La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos por el análisis de varianza mientras que la Tabla 14 muestra un resumen estadístico de las concentraciones de PTS.

Tabla 13. Análisis de varianza para las estaciones de monitoreo

ORIGEN	SC	GL	PC	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA F
Entre grupos	3008,96	4	752,24	0,52	0,71	3,05
Dentro de los grupos	21331,70	15	1422,11			
Total	24340,66	19				

SC = Suma de cuadrados

GL = Grados de libertad

PC = Promedio de los cuadrados

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Tabla 14. Resumen estadístico concentraciones PST en Santa Marta 2006

	UNIMAG	CENTRO EJECUTIVO	CAJAMAG	CARBO GRANELES	AERAL
Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	294.28	121.2	127.4	261.2	385.41
Dato	24-Feb-06	2-May-06	25-Feb-06	25-Feb-06	23-Feb-06
Mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16.76	46.7	67.9	81	16.76
Dato	7-May-06	3-Mar-06	14-Ene-06	17-May-06	7-May-06
Promedio	119.13	163.25	106.97	112.63	125.5
Desviación estándar	37.69	11.44	5.83	26.46	14.47
Coeficiente de variación temporal	0.32	0.07	0.05	0.23	0.12
Coeficiente de variación espacial	-0.05	0.3	-0.15	-0.10	

4.5 COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

4.5.1 Análisis bajo microscopia. A fin de establecer la composición mineralógica de los filtros pertenecientes a la estación Unimag, se escogieron (5) cinco filtros (1), uno por cada mes, a los cuales se les efectuó un análisis por difracción de Rayos X de polvos, realizado con un equipo Bruker D8 Advance, filtro de Fe, K- α del Co y detector PSD.

El análisis bajo microscopia realizados a los filtros de la estación Unimag confirmo la presencia de los minerales mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15. Composición mineralógica de los filtros pertenecientes a la estación Unimag, según el análisis de difracción de rayos X de polvos con un equipo Broker D8 Advance

MINERAL	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAY
Halita	X	X	X	X	X
Cloruro de Sodio	X				

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Calcita	X	X		X	X
Grafito	X	X	X	X	
Albita	X	X	X	X	
Calcio	X	X			
Bustamita		X			
Edenita				X	X
Cuarzo					X

4.6 SIMULACIÓN DEL MODELO ISCST PARA FUENTES Y RECEPTORES

4.6.1 Fuentes móviles

4.6.1.1 Cálculo de emisiones. La Tabla 16 presenta la determinación de la emisión asociada a cada una de las vías de tráfico vehicular establecidas: la Troncal, Avenida del Río y Carrera 21E.

Tabla 16. Emisiones asociadas a las vías de tránsito vehicular consideradas

FUENTE DE EMISIÓN	TRANSITO VEHICULAR (Vehiculos/día)	EMISIÓN POR VEHÍCULO (Kg/veh*día)	EMISIÓN DE LA FUENTE (g/s)
La Troncal	3547	1002.87	11.6073
Avenida del Río	3377	954.96	11.0528
Carrera 21E	3377	954.96	11.0528

4.6.1.2 Coeficientes de dispersión. Siguiendo la metodología propuesta para el cálculo de los coeficientes de dispersión σ_y y σ_z , se obtuvieron los resultados para cada una de las vías, según se muestra en las Tablas 17, 18 y 19.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Tabla 17. Coeficientes de dispersión σ_y y σ_z para La Troncal

NUMERO DE FUENTE	COORDENADAS X	COORDENADAS Y	ELEVACIÓN	σ_y	σ_z
1	1060	-605	0	69.76	0.19
2	616	-704	0	69.76	0.19
3	471	-741	0	69.76	0.19
4	180	-806	0	69.76	0.19
5	-115	870	0	69.76	0.19
6	410	-935	0	69.76	0.19

Tabla 18. Coeficientes de dispersión σ_y y σ_z para la Avenida del Río

NUMERO DE FUENTE	COORDENADAS X	COORDENADAS Y	ELEVACIÓN	σ_y	σ_z
1	-594	243	0	69.76	0.14
2	-397	406	0	69.76	0.14
3	-100	425	0	69.76	0.14
4	195	515	0	69.76	0.14
5	455	590	0	69.76	0.14
6	798	200	0	69.76	0.14

Tabla 19. Coeficientes de dispersión σ_y y σ_z para la Carrera 21E

NUMERO DE FUENTE	COORDENADAS X	COORDENADAS Y	ELEVACIÓN	σ_y	σ_z
1	-568	-782	0	69.76	0.14
2	-653	-485	0	69.76	0.14
3	-685	-235	0	69.76	0.14

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

4.6.2 Concentraciones de PTS. Las concentraciones obtenidas por medio del modelo ISCST para todas las fuentes se muestran a continuación en la Tabla 20.

Tabla 20. Concentraciones reportadas por el modelo ISCST para todas las fuentes

COORD. X	COORD. Y	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	COORD. X	COORD. Y	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0	0	114.46002	-300	1200	66.99214
300	0	119.15475	-600	1200	61.96396
600	0	151.46477	-900	1200	32.51234
900	0	120.03536	-1200	1200	15.4948
1200	0	73.66727	0	-300	121.8437
-300	0	137.19386	300	-300	154.72397
-600	0	293.39529	600	-300	181.2112
-900	0	111.9065	900	-300	130.06209
-1200	0	34.60927	1200	-300	110.0219
0	300	182.28600	-300	-300	128.42242
300	300	173.70366	-600	-300	281.85077
600	300	152.65814	-900	-300	133.4763
900	300	58.33675	-1200	-300	43.36442
1200	300	66.05208	0	-600	221.91251
-300	300	163.75096	300	-600	309.72153
-600	300	160.14986	600	-600	179.13571
-900	300	84.04939	900	-600	152.16866
-1200	300	33.30791	1200	-600	37.18325
0	600	296.98801	-300	-600	154.01436
300	600	128.3217	-600	-600	240.32379
600	600	97.53772	-900	-600	112.87895
900	600	108.55831	-1200	-600	46.92165
1200	600	53.71146	0	-900	149.15443
-300	600	274.45239	300	-900	196.98262
-600	600	186.77538	600	-900	252.74208
-900	600	60.35946	900	-900	109.86475
-1200	600	25.30324	1200	-900	61.12703
0	900	124.25662	-300	-900	170.84811
300	900	163.36089	-600	-900	60.76674
600	900	136.2764	-900	-900	73.8031
900	900	71.85297	-1200	-900	42.13682
1200	900	34.19896	0	-1200	100.83111
-300	900	103.42692	300	-1200	120.24989
-600	900	91.7242	600	-1200	81.99785
-900	900	41.73307	900	-1200	45.94369

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

-1200	900	18.72175	1200	-1200	29.6579
0	1200	70.5875	-300	-1200	77.01469
300	1200	87.23631	-600	-1200	59.2822
600	1200	80.17092	-900	-1200	38.34487
900	1200	57.90465	-1200	-1200	27.24538
1200	1200	32.20815			

Las concentraciones de PTS para todo el periodo de simulación (5 meses) revelan que de los 82 receptores establecidos, en 41 se superan el valor máximo establecido por la norma de calidad del aire ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$), presentados en las zonas más próximas a las vías Troncal y avenida del Río; con el máximo valor de $309.72\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las coordenadas (300,-600) y el mínimo valor de $15.49\mu\text{g}/\text{m}^3$ localizado en las coordenadas (-1200,1200).

4.6.3 Media geométrica obtenida en la simulación con el ISCST. La media geométrica obtenida para la estación Unimag por medio del modelo ISCST fue de $114.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ para todo el periodo de simulación. Así mismo, la Tabla 21 muestra las concentraciones promedio de PTS emitidos por cada vía.

Tabla 21. Concentración de PTS emitido por las vías Troncal, Avenida del Río y Carrera 21 E en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

VÍA	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
TRONCAL	42.89233
AV. DEL RÍO	52.08817
CARRERA 21E	19.47903

Los datos obtenidos de la simulación con el modelo ISCST muestran que las vías correspondientes a la Troncal, Avenida del Río y Carrera 21E, próximas a la estación Universidad del Magdalena, presentan una considerable emisión de PTS lo que contribuye sustancialmente en los niveles de concentración medidos en la

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

misma. Como se observa en la Tabla 21, la fuente que presenta el mayor aporte de material particulado es la Avenida del Río con un valor de $52.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la estación Troncal presenta una emisión bastante cercana equivalente a $42.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual indica que estas vías se constituyen en fuentes críticas de emisión y que se encuentran influenciadas por las condiciones meteorológicas. Por otro lado, la vía correspondiente a la Carrera 21E muestra la menor emisión correspondiente a $19.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En las Figuras 21 y 22 se presenta la dispersión de PTS emitido por las vías de tráfico vehicular en la Universidad del Magdalena y su influencia sobre la ciudad.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Figura 21. Isopletas de concentración debida a fuentes lineales correspondientes a las vías de tráfico vehicular La Troncal, Avenida del Río y Carrera 21E en la estación Universidad del Magdalena

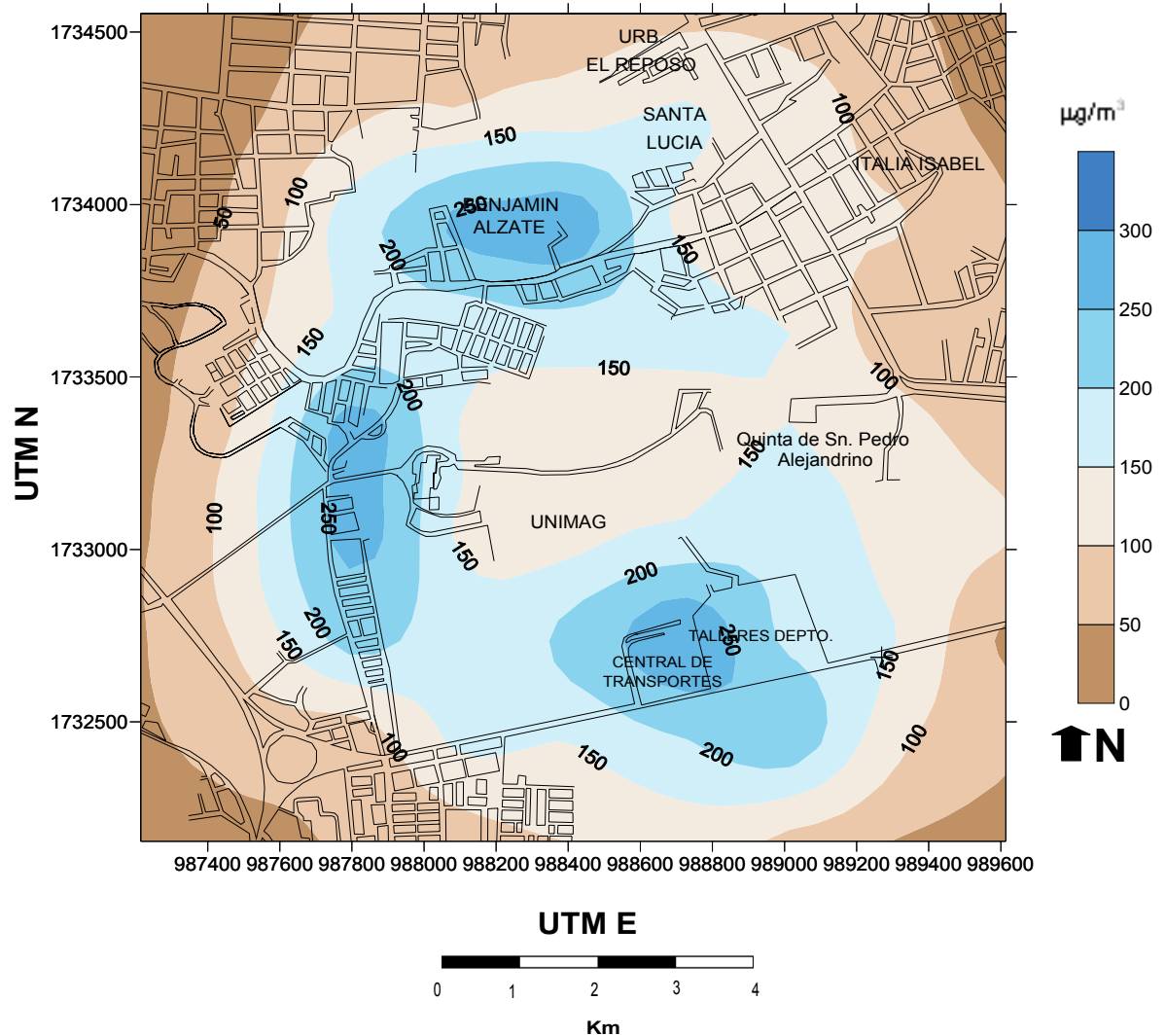
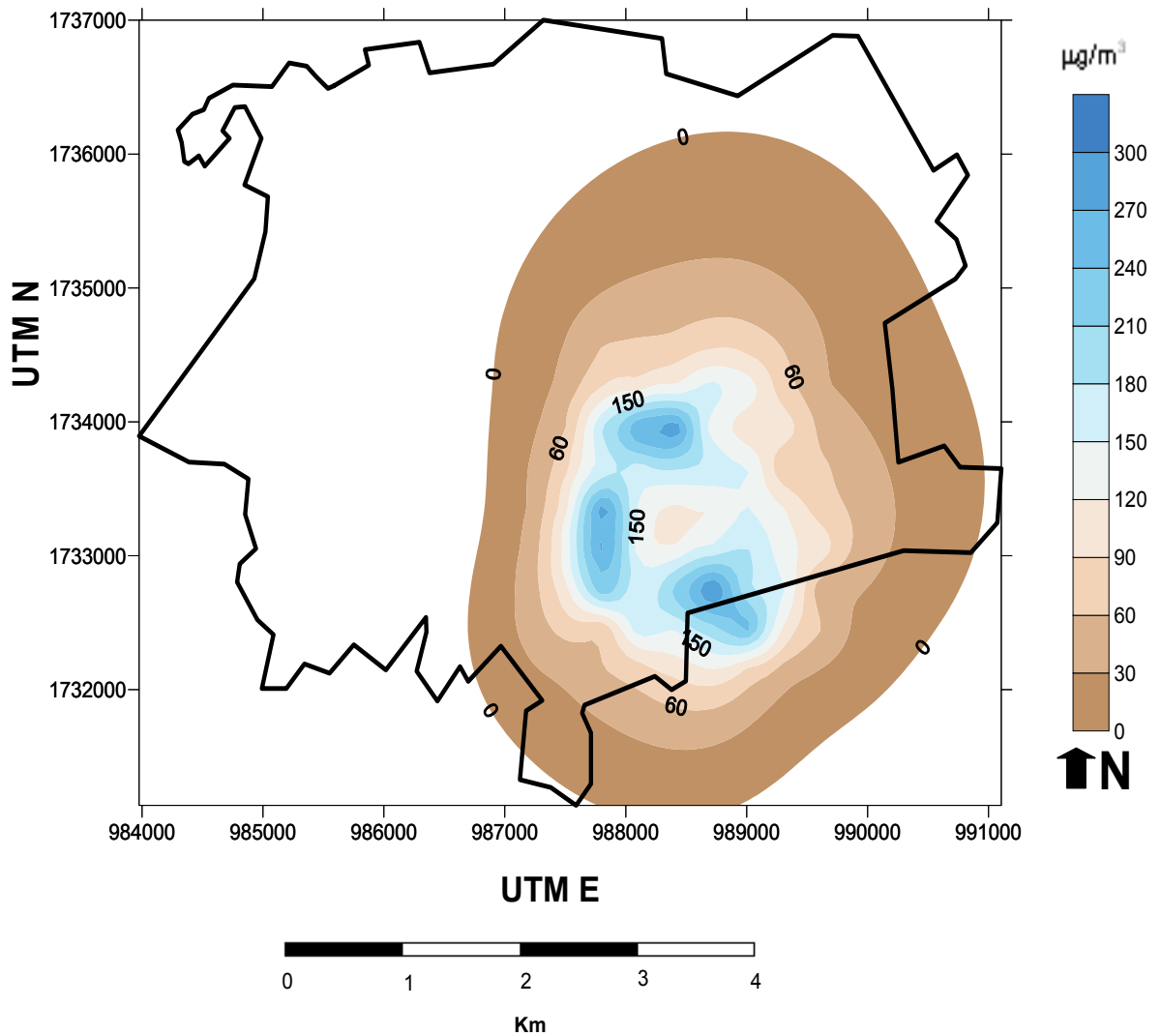


Figura 22. Influencia de las vías La Troncal, Avenida del Río y Carrera 21E sobre la ciudad de Santa Marta



La Figura 23 muestra que la influencia de las vías la Troncal, Avenida del Río y Carrera 21E sobre la ciudad de Santa Marta es muy pequeña y que sólo se remite al área de estudio y sus alrededores -(1) un kilómetro a la redonda-, por lo tanto no se registran valores de concentración para el resto del casco urbano de la ciudad. Lo anterior puede deberse a que no se tomó totalmente las vías mencionadas, es decir, estas se fraccionaron tomando los tramos incluidos dentro del área de estudio. Aparte, no se tuvo en cuenta otras fuentes de emisión de partículas tales

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

como la Avenida del Ferrocarril entre otras vías de igual importancia ni se tuvo en cuenta el efecto de la erosión eólica en los cerros de la ciudad.

4.7 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PTS OBTENIDA POR SIMULACIÓN Y LA OBTENIDA EN CAMPO

La Tabla 22 presenta la concentración de PTS obtenida en campo y la obtenida por medio del modelo ISCST en la estación Unimag.

Tabla 22. Comparación de la concentración de PTS real y simulada obtenida en la estación Unimag

ESTACIÓN	CONCENTRACIÓN DE PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Reales	Simuladas
UNIMAG	117.32	114.45

5. CONCLUSIONES

En cuatro de las cinco estaciones de monitoreo la media geométrica sobrepasó los niveles permisibles según la Resolución 601 del 04 de abril del 2006. Se recomienda tomar medidas más efectivas en lo concerniente al control de emisión de material particulado debido a fuentes carboníferas y emisiones vehiculares, dado que los habitantes de la ciudad se encuentran expuestos a altas concentraciones de material particulado suspendido, según los resultados obtenidos en el presente estudio.

Existe una relación estrecha entre la media geométrica obtenida en campo para la estación Unimag ($117.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la obtenida en la simulación ($114.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que sugiere que ISCST es una herramienta útil que permite aproximaciones bastante cercanas a la realidad. Debido a que en la simulación no se incluyeron otro tipo de fuentes tales como suspensión de material geológico a causa de los vientos y provenientes del suelo, cerros cercanos, construcciones, entre otros, no se obtuvo un valor más exacto al de los medidos en campo. El modelo es eficaz cuando se trata de representar fuentes lineales, en este caso carreteras y establecer la contribución específica de cada una de ellas.

La estación Unimag presenta el coeficiente de variación temporal más alto, indicando que los datos colectados son diferentes uno con respecto al otro, mas que en las estaciones restantes, lo que se puede significar que en esta estación, las concentraciones de material particulado están influenciadas por diversas fuentes que varían en el tiempo generando una alta fluctuación en el rango de concentraciones medidas en la estación. En mediciones de calidad del aire se espera que las concentraciones de contaminantes presenten coeficientes de variación altos tal y como lo reporta la estación Unimag, pues los niveles de contaminantes medidos en los sitios donde se ubican los receptores obedecen a

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

las variaciones influenciadas por variaciones propias de la fuente, por ejemplo el tráfico vehicular es diferente para cada día de la semana e inclusive en las horas del día y la variación de las condiciones meteorológicas.

Según el análisis del coeficiente de variación espacial, las concentraciones medidas en el Centro Ejecutivo son 30% más altas que las concentraciones medidas en cualquier otro sitio del área de estudio. Valores negativos representan concentraciones menores, por tanto las concentraciones de material particulado medidas en la estación Unimag son 5% menores que las concentraciones medidas en cualquier otro sitio del área de estudio. Es de esperarse que los valores más altos de la concentración de material particulado se encuentren en las cercanías del Centro Ejecutivo ya que esta estación se ubica en el centro de la ciudad donde tiene gran influencia el tráfico vehicular y otras fuentes como la dispersión de partículas de carbón desde el puerto y por su cercanía al mar. Mientras que los valores más bajos de concentración de material particulado se presentan en la estación Cajamag.

Estudiar la variación temporal y espacial de material particulado es una herramienta útil porque además de interpretar hacia donde se distribuye cualquier tipo de contaminante atmosférico, fomenta el desarrollo de alternativas para destacar los impactos que este puede generar sobre la salud humana y el medio ambiente.

Se estableció que la Universidad del Magdalena se encuentra influenciada por el mar, el polvillo de carbón proveniente presumiblemente de la combustión incompleta de los vehículos que transitan por sus alrededores y la erosión eólica dado la presencia de halita, grafito y demás minerales como la bustamita, edenita, entre otros hallados en los análisis de los filtros por Difracción de Rayos X de polvos.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Finalmente, Santa Marta por ser una ciudad que posee fuentes de emisión importantes de materia particulado, tales como los puertos, las canteras, el aerosol marino, los cerros entre otros, debería poseer un numero mayor de estaciones de monitoreo de la calidad del aire que fortalezcan la red de calidad ya existente, igualmente se debería tener un mayor numero de registros diarios que permitan conocer la variabilidad de este parámetro de calidad del aire con más exactitud.

6. BIBLIOGRAFÍA

BALLESTER, Ferran. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. En: Instituto de Valencia de Estudios en Salud Pública (IVESP). Madrid, España 2005.

BELL, Michelle L; SAMET, Jonathan M and DOMINICI, Francesca. Time-series studies of particulate matter. En: Annual Review of Public Health Palo Alto: 2004. Vol. 25 (2004); p. 247-280

BENAVIDES, Henry. Pronóstico de la concentración de material particulado por chimeneas industriales en Bogotá. Santa Fe de Bogota, 2003, 299 p. Tesis para optar el título de Magíster en Ciencias-Meteorología. Universidad Nacional de Colombia.

BUILTJES, Peter J.H. Major twentieth century milestones in air pollution modeling and its application. 2001.

CHOW, Judith C. and WATSON, Jhon G. Guideline on Speciated Particulate Monitoring. Office of Air Quality Planning and Standards (MD-14). En: U.S. Environmental Protection Agency (1998). Research Triangle Park, NC 2771.

DAVID, Alois y WAGNER, Gregory. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998.

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

DAWIDOWSKI L.; GÓMEZ D., y REICH S. Guía práctica para la preparación de las evaluaciones de impacto ambiental atmosférico e.i.a.a, 1996.

DOCKERY D.W., et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. En: New England Journal of Medicine. Vol. 329 (1993); p. 753-1759.

ECHEVERRI, Carlos. Determinación de las concentraciones de fondo de material particulado en suspensión en la ciudad de Medellín. En: Revista facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. N° 32 (Diciembre 2004); p. 7-16

EPA. Guía del usuario para el modelo de dispersión de complejo de fuente industrial (ISC3). Vol I. Instrucciones para el usuario. EPA 454/B-95-003a. Septiembre de 1995. North Carolina, USA

_____. Air Quality Criteria for Particulate Matter. Washington. 1996. p.45.

_____. Health and environmental effects of particulate matter. 1997. Office of Air Quality Planning & Standards. United State

_____. Third external review draft of air quality criteria for particulate matter. 2002. U.S. EPA.

_____. Fourth External Review for Air Quality Criteria for Particulate Matter (Draft). EPA/600/P-95/001aF-cF, EPA Off. Res. and Dev., 2003. Research Triangle Park, NC

ESCALONA, Leyda M. Material particulado como PM₁₀ en el aire de la ciudad de Valencia, Venezuela. XXVIII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitaria e Ambiental. 2002; p. 7

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

GARCÍA, Francisco. Determinación de las concentraciones de fondo y distribución espacial de PTS (material particulado) en Santa Marta. Universidad del Magdalena. (2002).

KORN, Marcelo. Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire. CEPIS. 1999. p. 135

Ministerio del Medio Ambiente de la República de Colombia. Decreto 948 del 5 de junio de 1995. Bogotá, 1995.

Ministerio de Salud de la República de Colombia. Resolución 601 del 04 de Abril de 2006. Bogotá, 1982.

MOTALLEBI, Nehzat, et al. Particulate Matter in California: Part 1-Intercoparison of Several $PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, and PM_{10} . Monitoring networks. En: Journal of the Air & Waste Management Association. Vol. 53, N° 12 (Pittsburgh: Dec 2003); pg. 1509.

_____. Particulate Matter in California: Part 2-Spatial, Temporal, and Compositional Patterns of $PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, and PM_{10} . En: Journal of the Air & Waste Management Association. Vol.53, No. 12 (Pittsburgh: Dec 2003); pg. 1517.

POPE, CA III; BURNETT, RT;THUN, MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. En: JAMA. Vol. 287. 2002. p. 1132- 1141.

POPE, CA III. Air Pollution and Health — Good News and Bad. En: New England Journal of medicine Vol. 351. No. 11(septiembre 9, 2004). p. 1132-1134

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

PINTO, Joseph P.; LEFOHN, Allen S. And Shadwick Gouglas S. Spatial Variability of $PM_{2.5}$ in Urban areas in the United States. En: Journal of the Air & Waste Management Association. (Pittsburgh: Apr 2003). Vol. 54, N° 4; p. 440.

SALDARRIAGA, Julio et al. Partículas suspendidas (PTS) y Partículas respirables (PM_{10}) en el Valle de Aburra Colombia. En: Revista Facultad de Ingeniería. No. 32. (Diciembre, 2004); p. 7-16.

SWIFT, D.L.. The Oronasal Airways: The Definer and Ignored Respiratory Ozone Zone of the PM_{10} Regulatory Convention. En: Inhalation Toxicology. Vol. 7, No. 1(1995); p. 125-130

SWISSCONTACT. Monitoreo del aire: Manual de laboratorio. Agosto, 2001.

TURTÓS, Leonor and ROQUE, Alfredo. Local Dispersion of Atmospheric Contaminants with Berlyand and ISCST. Meteorology Institute. Cuba. 2003.

VIANA, María del Mar. Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias. España. 2003, 386 p. Trabajo de grado (Magíster en Meteorología). }Universidad de Barcelona. Facultad de Ciencias.

WARK, Kenneth and WARNER, Cecil. Contaminación del aire, origen y control. Versión en español. México: Limusa. 1996.

WATSON, J.G. and CHOW J.C., "Data Bases for PM_{10} and $PM_{2.5}$ Chemical Compositions and Source Profiles," in Transactions: PM_{10} Standards and Nontraditional Particulate Source Controls. En: Air & Waste Management Assoc., (Pittsburgh 1992); p. 61-91

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

WATSON, J.G., "PM10 and PM2.5 Variations in Time and Space," prepared for TRC Environmental Corp., Chapel Hill, NC, by Desert Research Institute, Reno, NV, October 31 (1995).

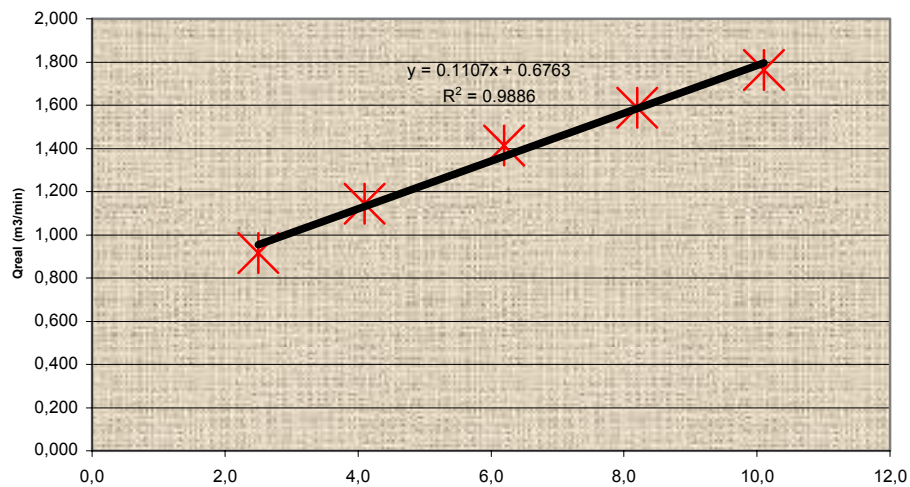
ZMVM, Programa para mejorar la calidad del aire en la zona metropolitana del Valle de México. Efecto de la salud por la contaminación del aire. México: 2002. p. 4.6

ANEXO A

CURVAS DE CALIBRACIÓN

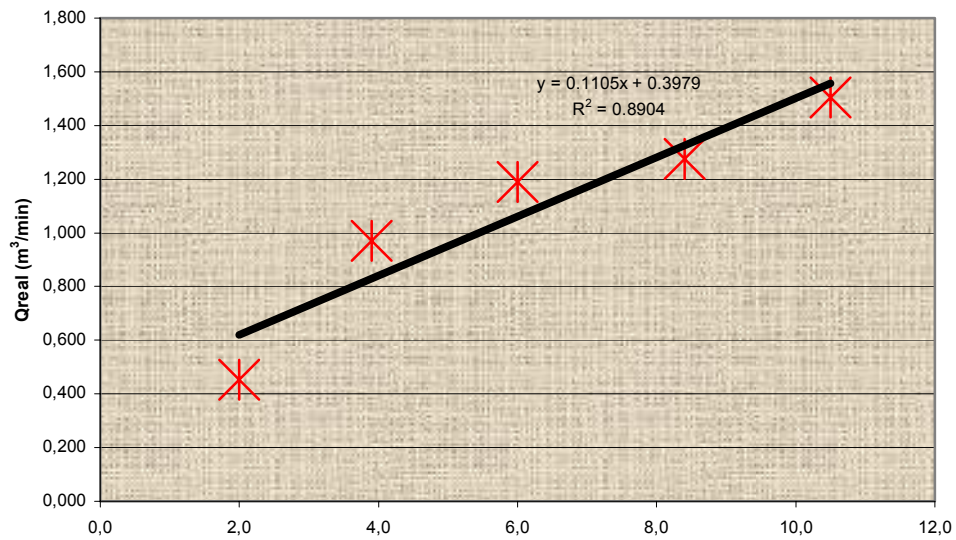
Las calibraciones realizadas en la estación Unimag durante todo el periodo de muestreo se presentan a continuación; en cada una de ellas se puede apreciar la ecuación correspondiente al caudal real y su respectiva correlación.

Calibración para el día 3 de enero de 2006

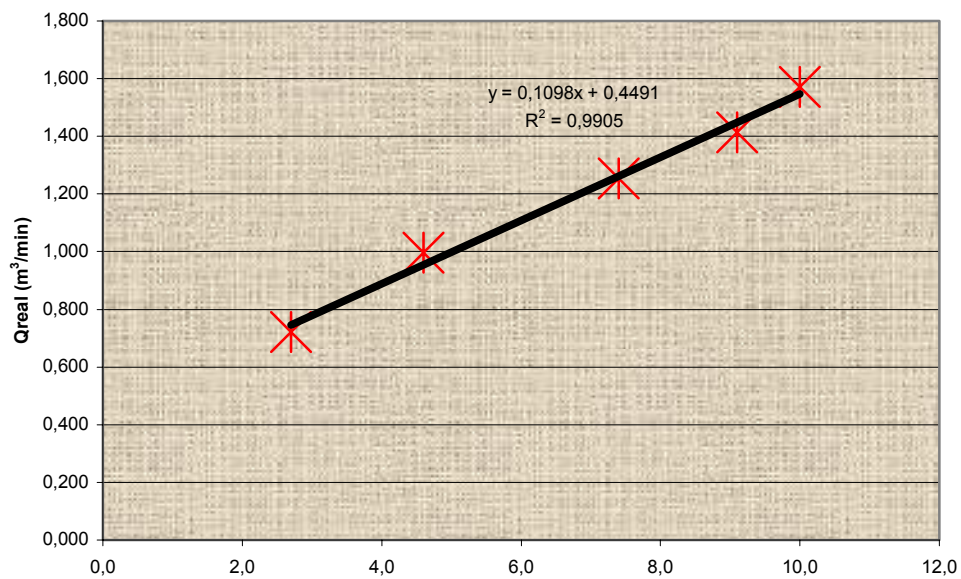


DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Calibración para el día 16 de Febrero de 2006

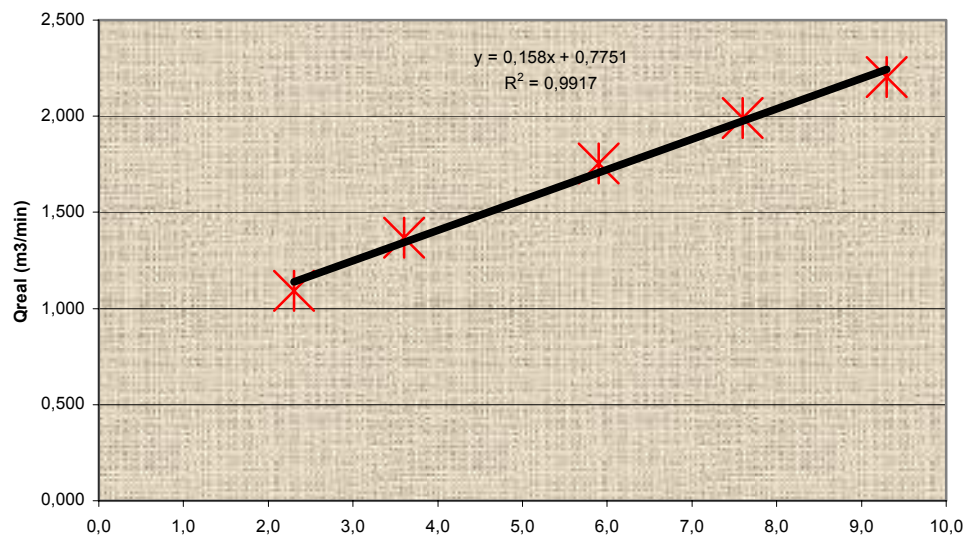


Calibración para el día 29 de Febrero de 2006

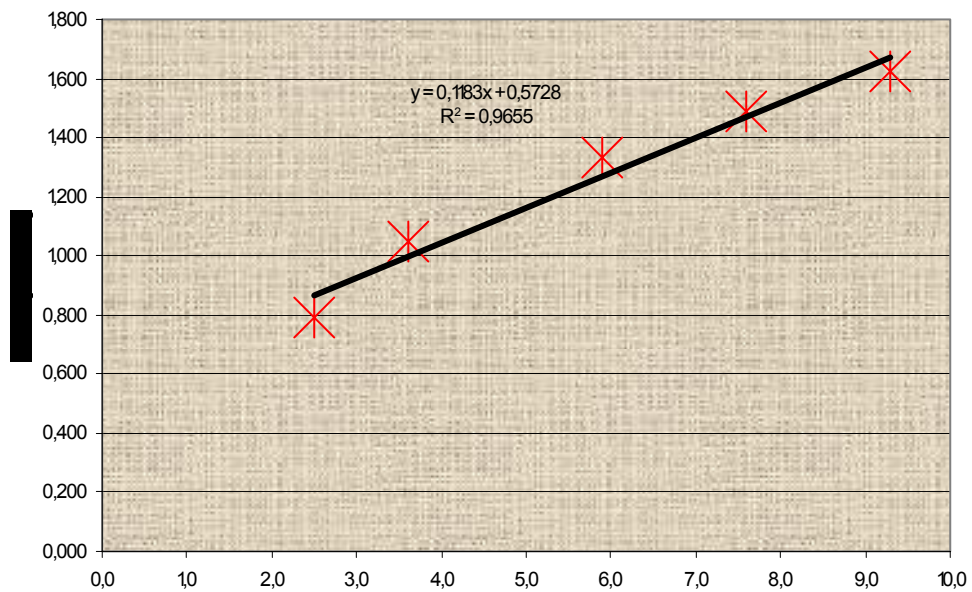


DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Calibración para el día 28 de Marzo de 2006

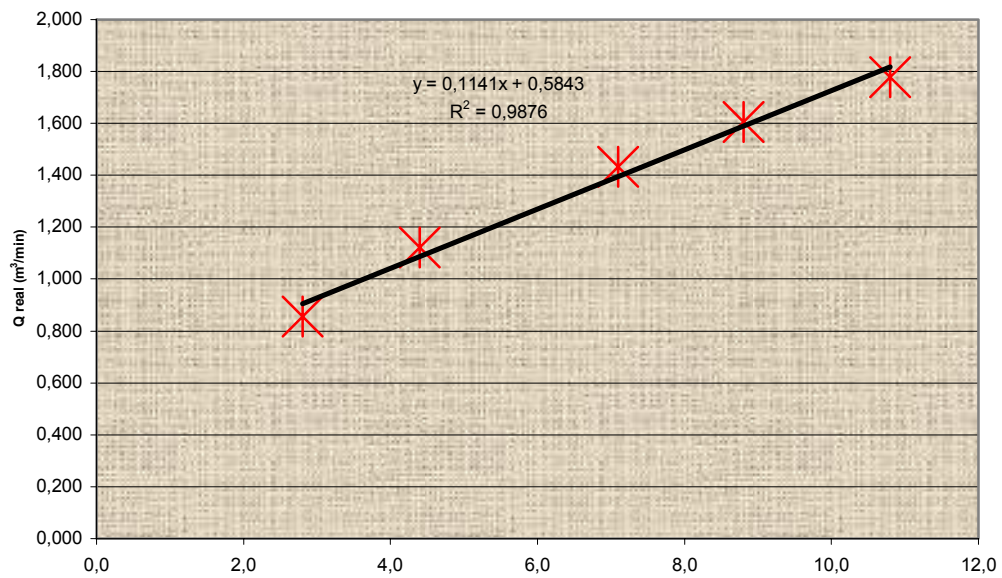


Calibración para el día 4 de Abril de 2006

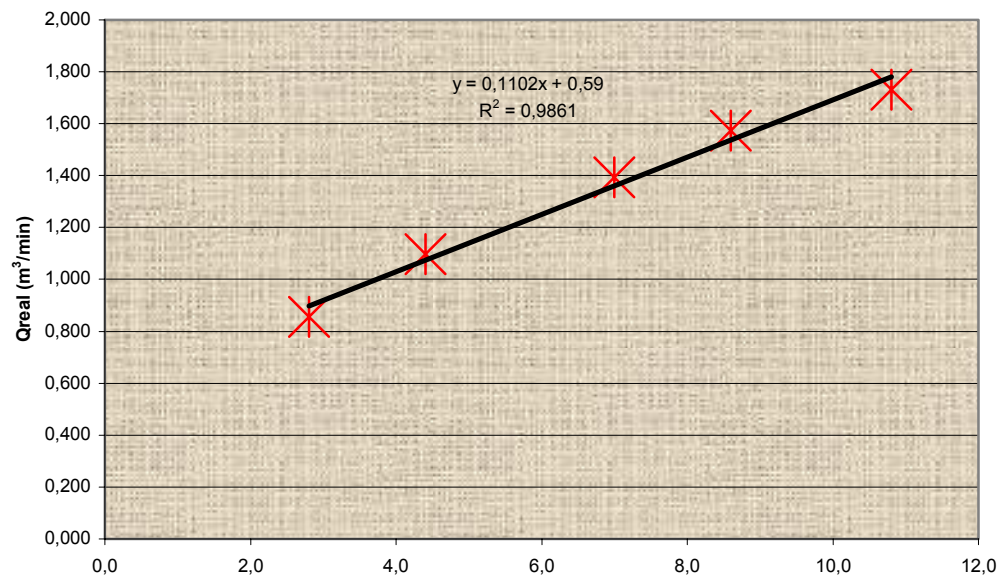


DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Calibración para el día 25 de Abril de 2006

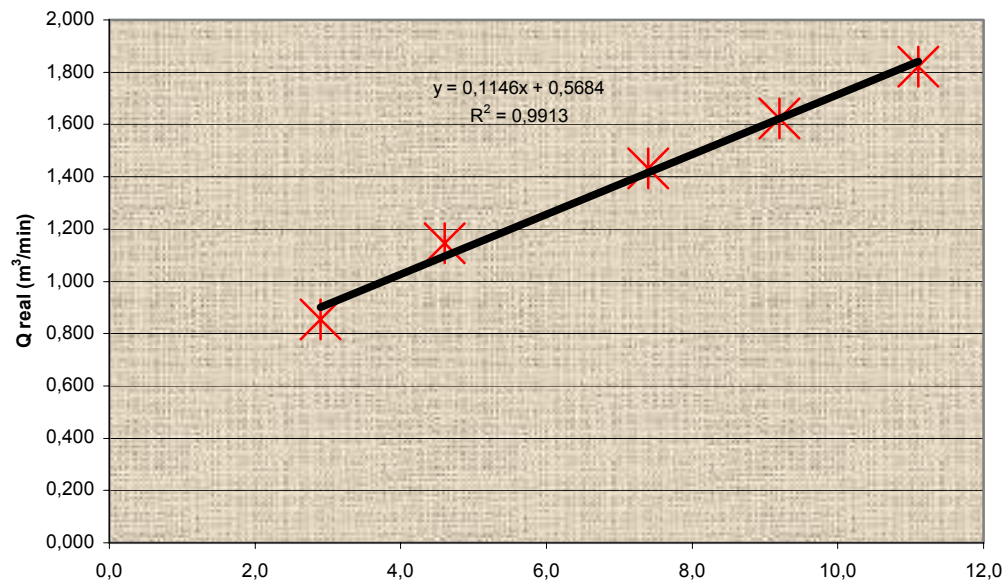


Calibración para el día 2 de Mayo de 2006

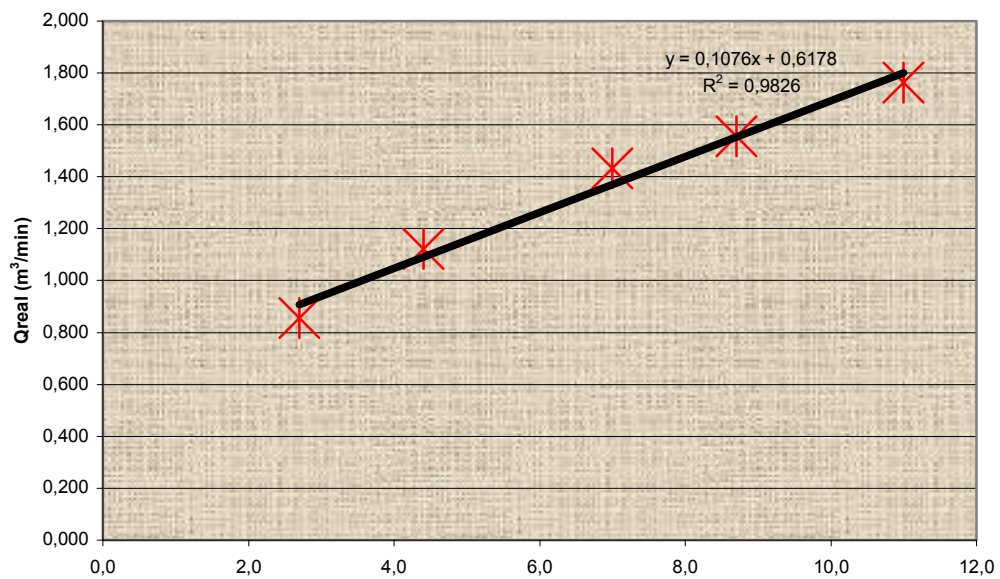


DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

Calibración para el día 9 de Mayo de 2006



Calibración para el día 23 de Mayo de 2006



**DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO
EL MODELO ISCST**

ANEXO B
DATOS DE ENTRADA INTRODUCIDOS AL MODELO ISCST

CO STARTING
CO TITLEONE VARIACION TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS EN SANTA
MARTA
CO MODELOPT DFAULT CONC URBAN
CO AVERTIME 24 PERIOD
CO POLLUTID TSP
CO RUNORNOT run
CO ERRORFIL ERRORS.OUT
CO FINISHED

SO STARTING

**	SRCID	SRCTYP	XS	YS	ZS
**	-----	-----	-----	-----	-----
SO LOCATION	LINE1A	VOLUME	1060.	-605.	.0000
SO LOCATION	LINE2A	VOLUME	616.	-704.	.0000
SO LOCATION	LINE3A	VOLUME	471.	-741.	.0000
SO LOCATION	LINE4A	VOLUME	180.	-806.	.0000
SO LOCATION	LINE5A	VOLUME	-115.	-870.	.0000
SO LOCATION	LINE6A	VOLUME	410.	-935.	.0000
SO LOCATION	LINE1B	VOLUME	-568.	-782.	.0000
SO LOCATION	LINE2B	VOLUME	-653.	-485.	.0000
SO LOCATION	LINE3B	VOLUME	-685.	-235.	.0000
SO LOCATION	LINE1C	VOLUME	-594.	243.	.0000

**DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO
EL MODELO ISCST**

```

SO LOCATION LINE2C VOLUME -397.  406.  .0000
SO LOCATION LINE3C VOLUME -100.  425.  .0000
SO LOCATION LINE4C VOLUME  195.  515.  .0000
SO LOCATION LINE5C VOLUME  455.  590.  .0000
SO LOCATION LINE6C VOLUME  798.  200.  .0000
**                SRCID  VLEMIS  RELHGT  SYINIT  SZINIT
**                -----  -----  -----  -----  -----
SO SRCPARAM LINE1A  11.61      0.4    69.76   0.19
SO SRCPARAM LINE2A  11.61      0.4    69.76   0.19
SO SRCPARAM LINE3A  11.61      0.4    69.76   0.19
SO SRCPARAM LINE4A  11.61      0.4    69.76   0.19
SO SRCPARAM LINE5A  11.61      0.4    69.76   0.19
SO SRCPARAM LINE6A  11.61      0.4    69.76   0.19
SO SRCPARAM LINE1B  11.05      0.3    69.76   0.14
SO SRCPARAM LINE2B  11.05      0.3    69.76   0.14
SO SRCPARAM LINE3B  11.05      0.3    69.76   0.14
SO SRCPARAM LINE1C  11.05      0.3    69.76   0.14
SO SRCPARAM LINE2C  11.05      0.3    69.76   0.14
SO SRCPARAM LINE3C  11.05      0.3    69.76   0.14
SO SRCPARAM LINE4C  11.05      0.3    69.76   0.14
SO SRCPARAM LINE5C  11.05      0.3    69.76   0.14
SO SRCPARAM LINE6C  11.05      0.3    69.76   0.14
SO SRCGROUP LINEA LINE1A-LINE6A
SO SRCGROUP LINEB LINE1B-LINE3B
SO SRCGROUP LINEC LINE1C-LINE6C
SO FINISHED

RE STARTING
RE GRIDCART CAR1 STA

```

DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE PTS UTILIZANDO EL MODELO ISCST

RE GRIDCART CAR1 STA

RE GRIDCART CAR1 XPNTS -1200. -900. -600. -300. 0 300. 600. 900.
1200.

RE GRIDCART CAR1 YPNTS -1200. -900. -600. -300. 0 300. 600. 900.
1200.

RE GRIDCART CAR1 END

RE DISCCART 0.0 0.0

RE FINISHED

ME STARTING

ME INPUTFIL stamta.met

ME ANEMHGHT 10.0 meters

ME SURFDATA 1501505 2006 SANTAMARTA

ME UAIRDATA 1501505 2006 SANTAMARTA

ME FINISHED

OU STARTING

OU RECTABLE ALLAVE FIRST-THIRD

OU MAXTABLE ALLAVE 50

OU FINISHED